

SISTEMA SCADA BASADO EN UN AMBIENTE DE PROGRAMACIÓN OPEN SOURCE

**MATEO CASTRILLON VARELA
SIMÓN SALAZAR MARULANDA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERO MECATRÓNICO**

MSc. Andrés Felipe Valle Pérez



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
ENVIGADO
2019**

CONTENIDO

pág.

1	PRELIMINARES	11
1.1	Planteamiento del problema	11
1.2	Objetivos del proyecto	12
1.2.1	Objetivo General	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	Marco de referencia	12
1.3.1	Antecedentes	12
1.3.2	Marco teórico	14
2	METODOLOGÍA	23
2.1	Identificación de requerimientos	
	Error! Bookmark not defined.	
2.2	Diseño de concepto	23
2.3	Diseño de detalle	23
2.4	Desarrollo del sistema	24
2.5	Pruebas y refinamiento	24
3	DESARROLLO DEL PROYECTO	25
3.1	Identificación de requerimientos	25
3.1.1	Comparación con soluciones existentes	27
3.2	Diseño y selección de concepto	28
3.2.1	Registro de soluciones	29
3.2.2	Matriz Morfológica	36
3.2.3	Selección de concepto	39
3.3	Diseño de detalle	40
3.3.1	Diseño del controlador de presión	40
3.3.2	Diseño del controlador de Nivel	43
3.3.3	Programación PLC	45
3.3.4	Comunicación entre controladores PLC	4750
3.3.5	Comunicación PLC a servidor WEB	50
3.3.6	Diseño interfaz gráfica	52
3.3.7	Base de Datos	58
3.3.8	Alarmas y registros	59
4	RESULTADOS	62
5	CONCLUSIONES	
	Error! Bookmark not defined.	
	REFERENCIAS	68

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de necesidades	25
Tabla 2. Matriz métricas.....	26
Tabla 3. Matriz necesidades-métricas.....	27
Tabla 4. Especificaciones de objetivo	27
Tabla 5. Registro de soluciones – controladores.....	29
Tabla 6. Registro de soluciones – sistema de adquisición de datos.....	30
Tabla 7. Registro de soluciones – sistema SCADA.....	31
Tabla 8. Registro de soluciones – bases de datos	33
Tabla 9. Registro de soluciones – PLC	34
Tabla 10. Registro de soluciones – plantas UEIA	35
Tabla 11. Matriz morfológica.....	37
Tabla 12. Matriz de decisión	40
Tabla 13. Comparativo sistemas SCADA	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. D.A.Q	17
Figura 2. PLC	18
Figura 3 Tarjeta de Red	20
Figura 4. Cable ethernet RJ-45	20
Figura 5. Funcionamiento comunicación OPC	21
	Error! Bookmark not defined.
Figura 6. Comunicación OPC en SCADA	22
Figura 7. Caja negra del sistema	28
Figura 8. Caja transparente del sistema	29
Figura 9. Grafico del comportamiento de presión	41
Figura 10. Modelos de Matlab Ident	41
Figura 11. Simulación sistema lazo cerrado	42
Figura 12. Respuesta al impulso planta de nivel	43
Figura 13. Diagrama de bloques controlador nivel	44
Figura 14. Simulación planta nivel EIA	44
Figura 15. Uso de bloque NORM_X	45
Figura 16. Uso de bloque SCALE_X	45
Figura 17. Modulo análogo	46
Figura 18. Conexiones planta Nivel	46
Figura 19. Conexiones planta presión	47
Figura 20. Red PLC'S	48
Figura 21. Bloque de transmisión de datos	48
Figura 22. Bloque de recepción de datos	49
Figura 23. Bloque comunicación PLC S7	50
Figura 24. Asignación de Dirección recepción de datos	51
Figura 25. Tabla de variables a leer	51
Figura 26. Tabla de direcciones PLC	52
Figura 27. Botón Node Red	53
Figura 28. Switch Node Red	Error! Bookmark not defined.
	3
Figura 29. Cuadro de texto Node Red	Error! Bookmark not defined.
	3
Figura 30. Text Input Node red	Error! Bookmark not defined.
	3
Figura 31. Gauge Node Red	Error! Bookmark not defined.
	4
Figura 32. Chart Node Red	Error! Bookmark not defined.
	4
Figura 33. Notification Node Red	Error! Bookmark not defined.
	4
Figura 34. Ui Control Node Red	Error! Bookmark not defined.
	5
Figura 35. Template Node Red	55
Figura 36. File	55
Figura 37. File In	55

Figura 38. Mail	56
Figura 39. Interfaz gráfica nivel	56
Figura 40. Interfaz gráfica presión	56
Figura 41. Configuraciones Loggin	57
Figura 42. Loggin interfaz gráfica	58
Figura 43. Bloque MySQL	58
Figura 44. Configuraciones Base de datos	59
Figura 45. Alerta valores anormales	60
Figura 46. Alerta ingreso erróneo.....	60
Figura 47. Paro de emergencia	60
Figura 48. Reportes	61
Figura 49. Bloque_MB master	62
Figura 50. Modulo Expansión CM1241	63
Figura 51. Bloque PTP	63
Figura 52. Tendencia Nivel	64
Figura 53. Gráfico de tendencias plantas de presión	65
Figura 54. Tabla de Base de Datos	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Código LADDER PLC	68
Anexo 2. Código interfaz Gráfica Nivel	69
Anexo 3. Código Interfaz Gráfica Presión	70
Anexo 4. Código Loggin.....	71

GLOSARIO

AC: Corriente Alterna (Siglas en inglés), este término se utiliza para designar uno de los modos en los que mueve la corriente, en el que los electrones alternan la dirección en la que fluyen.

PLC: Controlador Lógico programable, este término se utiliza para designar los controladores lógicos que se encargan de realizar la tarea de control de sistemas y procesos.

TCP/IP: Protocolo de transmisión y control de datos por dirección IP este término hace referencia a el protocolo encargado de transmitir la información entre dispositivos que tengan asignado una dirección IP

IP: Protocolo internet (siglas en inglés) es un número que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una Interfaz en red.

PID: Controlador de acción proporcional, integral y derivativa, PID es un mecanismo de control simultáneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial.

OPEN SOURCE: este término se refiere a una iniciativa de código abierto en la que las herramientas de software sean desarrolladas por y para los usuarios.

SERVIDOR WEB: este término se suele utilizar para designar elementos de hardware o software que interactúan con los archivos que componen una página web, ya sea conteniéndolos.

ETHERNET: Es un estándar de redes de área local para computadores, por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detención de Colisiones (CSMA/CD).

MySQL: Es un sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado bajo licencia dual: Licencia pública general/Licencia comercial.

SCADA: Sistema de control y adquisición de datos (siglas en inglés) es un sistema que permite el control y la adquisición de datos de procesos industriales.

RESUMEN

En el siguiente escrito se describe el proceso que se siguió para el desarrollo de una plataforma tipo SCADA (de adquisición y control de datos) enfocada a un ambiente industrial, la cual será simulada en dos plantas de la Universidad EIA: una de presión y una de nivel.

Para desarrollar el sistema SCADA se utilizará una plataforma open source que, a diferencia de las licenciadas, no requiere inversión y proporciona elementos y ventajas comparables en su funcionamiento, para de esta manera poder realizar una interfaz que le permita a un usuario u operador tener acceso remoto al control y la visualización de datos de las plantas. Para esto se necesita desarrollar controladores PID y una comunicación OPC entre dos programadores lógicos (PLC) y un servidor de almacenamiento de datos como MySQL server u otros que tengan características similares, y así poder verificar que se esté realizando un adecuado control y supervisión de los procesos involucrados en las dos plantas y se estén representando en la interfaz de manera remota y adecuada.

Palabras clave: SCADA, Protocolo, Comunicación, Control, Servidor.

ABSTRACT

The following document describes the process followed for the development of a SCADA (data acquisition and control) platform, focused on an industrial environment, which will be simulated in two plants of the UEIA: a pressure plant and a level plant.

To develop the SCADA system, an open source platform will be used, which, unlike the licensed, does not require investment and provides comparable elements and advantages in its operation, in order to be able to accomplish an interface that allows a user or operator to have remote access to the control and visualization of the data. For this it is necessary to develop PID controllers and an OPC communication between two logic programmers (PLC) and a data storage server such as MySQL server or others that have similar characteristics, and thus be able to verify that an adequate control and supervision of the processes involved in the two plants is being carried out and that they are being represented in the interface remotely and adequately.

Keywords: SCADA, Protocol, Communication, Control, Server.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria cuenta con diferentes sistemas que le permiten mantener el control de procesos y al mismo tiempo mostrar una interfaz que sea amigable al usuario, de esta manera se puede visualizar todo tipo de información acerca de los procesos que se están controlando a través de los diferentes dispositivos de controladores, no es raro encontrar en la industria que el controlador más utilizado sea el PLC ya que este ofrece el mayor abanico de servicios por un precio asequible, y como no es de otra manera los dispositivos más usados para la visualización de interfaces son los HMI ya que estos proporcionan una integración fácil y eficiente con los PLC, por otro lado la interfaz siempre queda ligada al proceso por lo que no se puede visualizar desde otra área de la compañía y en estos casos es donde se implementan los sistemas SCADA, los cuales además de ofrecer visualización del proceso en tiempo real y a distancia también realizan el trabajo de adquisición de datos lo que es muy efectivo para la realización de informes y toma de decisiones.

Los sistemas SCADA por lo general son sistemas que deben ser cotizados con empresas que cuenten con un amplio conocimiento en estos procesos industriales como lo son por ejemplo SIEMENS y ALLEN BRADLY, las cuales poseen ambientes de desarrollo especiales para sus marcas de PLC; sin embargo, estas empresas además de vender sus servicios a precios muy elevados no realizan trabajos a procesos pequeños ya que la inversión de tiempo y recursos no son rentables. Para esto se realizan sistemas SCADA en ambientes de programación OPEN SOURCE, los cuales permiten a cualquier persona con acceso a una de estas plataformas programar sus propios procesos, estos desarrollos requieren conocimiento en áreas de programación y control avanzado, por lo tanto, aunque sea más rentable, por no pagar un servicio externo, si se debe tener conocimiento en lenguajes de desarrollo web y de bases de datos.

El presente trabajo de grado contiene el desarrollo de un dispositivo propuesto como solución al problema mencionado, incluyendo un bajo costo de producción. Para el desarrollo, se toma como base la metodología de Ulrich (Ulrich & Eppinger, 2009), donde se presentan detalladamente las etapas de diseño, construcción, pruebas de desempeño, verificaciones y ajustes finales.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo económico de un país se ve altamente influenciado por el desarrollo de su industria y de sus empresas; para un país tercermundista como lo es Colombia las denominadas mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas), juegan un papel indispensable para su crecimiento; así lo explica Julián Domínguez, presidente de la Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio.

“No cabe duda sobre la importancia de las Pymes en nuestro país. Las micro, pequeñas y medianas empresas son fundamentales para el sistema productivo colombiano, como lo demuestra el hecho de que, según el Registro Único Empresarial y Social (Rúes), en el país 94,7% de las empresas registradas son microempresas y 4,9% pequeñas y medianas” (DINERO, 2015)

Son cifras muy altas las cuales no tendrían que ser necesariamente alarmantes, pero en el caso de Colombia lo son.

En una entrevista realizada por la entrevista Dinero a Rafael Ignacio Pérez Uribe, director del grupo de investigación G3Pymes, y María del Pilar Ramírez afirman que estas pymes generan cerca del 38% del PIB total, cifra muy baja teniendo en cuenta que en economías más desarrolladas, con un porcentaje menor de pymes estas llegan a aportar hasta el 50 y 60% de la producción nacional. (DINERO, 2016)

Uno de los problemas por los cuales las pymes nacionales no están teniendo el impacto que deberían es porque no le dan mucha importancia a la innovación y al desarrollo tecnológico lo que termina limitando de gran manera su competitividad y su supervivencia.

En recientes estudios realizados por la revista Dinero se plantearon algunas soluciones para este problema.

“En la investigación se descubrieron maneras de hacer investigación y desarrollo muy baratas. Entre las más importantes se encuentra recurrir a la academia. Actualmente hay grupos de investigación en todas las universidades que pueden tomar una o un gremio de empresas y hacerles un análisis y seguimiento del entorno económico” (DINERO, 2015)

Actualmente en Colombia solamente las empresas más grandes como Ecopetrol, Nestlé, Colanta, BIMBO, Postobón, entre otras, poseen esta clase de software de control, supervisión y adquisición de datos debido a que los que existen actualmente no son asequibles económicamente o simplemente no se ajustan a las necesidades de las empresas de menor escala lo que termina creando una brecha de innovación y tecnología además de generar pérdidas de dinero, en forma de tiempo, por procesos ineficientes o perdidas de materia prima, por el poco orden, estandarización y control de los métodos aplicados para hacer sus productos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Un gran ejemplo de cuan necesaria y benéfica es la automatización en la industria es la empresa Ladrillera 21 quienes después de innovar e invertir en tecnología de control, como lo es el SCADA, aumentaron su producción un 30% y redujeron su porcentaje de desperdicios entre 3 y 5%. (Gomez, 2017)

Lo que genera la pregunta ¿Cuáles son las características que debería tener un sistema SCADA para su implementación en las mipymes colombianas?

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para una plataforma industrial basada en un ambiente de programación open source.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar una plataforma open source, la cual permita el desarrollo del sistema SCADA.
- Diseñar un sistema SCADA en la plataforma seleccionada.
- Programar el control y monitoreo de dos de las plantas del laboratorio de la universidad a través de un PLC por planta, de tal forma que se envíen los datos de la planta al servidor del sistema SCADA.
- Verificar el funcionamiento y el tiempo de respuesta del sistema SCADA adquiriendo datos y generando señales de control para las dos plantas del laboratorio de la universidad.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

Estando en la denominada cuarta revolución industrial o industria 4.0, que es definida como la transición a la automatización, digitalización de las cosas y fusión de distintas tecnologías, los sistemas SCADA empiezan a emerger como una composición de diferentes tecnologías que traen consigo una gran estimulación al sector industrial, por lo tanto es lógico pensar que éste sistema está siendo constantemente mejorado, y pulido para lograr romper las barreras tecnológicas que impiden ir más allá y conseguir una unificación de los procesos que finalmente aumentarán su efectividad. (Schwab, 2016)

En 2011 un estudiante de la Universidad de Chile implementó un sistema SCADA en la micro-red GeVi de Huatacondo, el cual propone

“Una arquitectura de hardware basada en un sistema SCADA tradicional que incorpora elementos particulares de una micro-red, tales como medidores de consumo inteligentes y dispositivos inalámbricos especializados en el control de la demanda de los usuarios. Adicionalmente, se extiende su diseño para lograr control y monitoreo remoto desde cualquier lugar mediante el uso de internet, sabiendo que la arquitectura propuesta sigue los lineamientos del estándar IEEE 1547.3TM. Posteriormente, se implementa la plataforma SCADA en el sistema eléctrico del pueblo siguiendo las directrices del diseño propuesto. Gracias a lo anterior, se cuenta con control y monitoreo de todos los recursos distribuidos, facilitándose el desarrollo y la aplicación de esquemas de coordinación en la micro-red. Además, es posible el monitorear remotamente desde las dependencias del Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Como resultado, se presentan gráficos que muestran la operación de la micro-red mediante la visualización de potencias inyectadas, tensiones por fase, tensión y corriente en el banco de baterías y frecuencias de red, en un período de 24 horas”. (CORNEJO, 2011)

El estudiante David Aguirre Zapata de la universidad de Pirua en el año 2013 desarrollo la tesis “DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA USO EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS” partiendo una investigación realizada previamente por esta universidad en la que se desarrolló un proyecto para la aplicación de automatización y control de bajo costo en pequeñas y medianas industrias. Al final de éste, los resultados fueron tan positivos que algunos de los subproductos fueron comprados para su uso en determinadas empresas (Zapata, 2013). Esté antecedente es particularmente importante puesto que el direccionamiento o enfoque de esta tesis es básicamente el mismo.

En el 2011 los estudiantes Guamaní Proaño, Wilmer Orlando Narváez Quishpi y Francisco Javier implementaron un sistema de monitoreo para relés y medidores de la Sub Estación 1 (S/E 1) de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) a través de software OpenSource SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition). Se realizó un análisis comparativo de alternativas de software de monitoreo entre el OpenSCADA y Likindoy, seleccionando Likindoy por sus grandes características y ventajas tales como el tipo de aplicaciones, gráficas de proceso, visualización de datos a tiempo real, fácil utilización del lenguaje de programación Python, razones por las que se lo utilizó para la creación del sistema de monitoreo y adquisición de datos, implementándolo bajo plataforma Linux Debían Lenny 5.0 y, para la comunicación entre la interface HMI (Human Machine Interface) y el dispositivo, se utilizó protocolo Modbus TCP/IP (CORNEJO, 2011)

Los estudiantes Daniel Salazar Velarde y Adolfo Villacreses Pita realizaron el Diseño e Implementación de un Sistema de Monitorización para Relés y Medidores a través de Software Libre SCADA para la S/E 1 de la EERSA. (Salazar & Adolfo, 2015)

En el 2015 los estudiantes Daniel Salazar Velarde y Adolfo Villacreses Pita realizaron un diseño e implementación de un sistema SCADA para monitorear el flujo y temperatura de un sistema de llenado aséptico de jugo de maracuyá al agro con el objetivo de ayudar a la industria a cumplir con las normas de control de calidad internacionales de diferentes países para la exportación de su producto. En el cual se deben tomar muestras del producto y llevar el registro de las temperaturas alcanzadas, para lo cual el control del proceso se

utilizó un autómatas, un PLC, y un HMI que permite la interacción con el operario de la industria.

En el control de nivel del tanque se usaron varios sensores, tres diferentes puntos a lo largo de este y, un sensor de nivel ultrasónico en la parte superior, los cuales estarán conectados al PLC. La temperatura del producto es controlada usando varios sensores de temperatura que envían la información al PLC que regula la cantidad de vapor que circula en el sistema por medio de una válvula porcentual. (Salazar Velarde & Villacreses Pita, 2015)

En el 2011 el estudiante José Mauricio Sandoval Rodríguez realizó la implementación de un sistema SCADA para el control, supervisión de un prototipo de laboratorio desarrollado en la corporación para la investigación de la corrosión, esto con la finalidad de garantizar la dosificación de un tratamiento químico e implementar y conocer más a fondo todo lo relacionado con los sistemas SCADA, como por ejemplo, el manejo de las variables a distancia, los posibles errores y dificultades que se presenten en el campo, problemas con los sensores en ambientes externos, entre otros. Y por consiguiente llevar a mejorar el desempeño de los procesos. (Rodríguez, 2011)

En el 2005 Ambrosio José Plaza Schwark realizó un diseño conceptual de un sistema SCADA distribuido basado en MIDDLEWARE Y SOFTWARE de código abierto en este trabajo se presentó un sistema SCADA utilizando software de código abierto. Se utilizó el sistema operativo LINUX como plataforma de desarrollo. Así mismo, se emplea el sistema middleware como plataforma, bajo la cual se comunican las aplicaciones que conforman el sistema, en especial se seleccionó xmlblaster debido a que soporta aplicaciones escritas en distintos lenguajes de programación, y se puede ejecutar plataformas con diferentes sistemas operativos. (Schwark, 2005)

Los estudiantes Moya Calderón y Christian Bolívar realizaron una tesis de grado que consistió en un software orientado a sistemas de control hmi/scada usando recursos libres y de código abierto, desarrollado sobre plataforma Linux consistió en el diseño, desarrollo e implementación de una aplicación o software para construir sistemas HMI / Scada, utilizando software libre y software de código abierto. La aplicación llamada CM (por la primera letra de Christian Moya), está escrita en el lenguaje de programación Python e implementada sobre el sistema operativo Linux. El objetivo de esta aplicación es convertirse en una alternativa gratuita y de código abierto para HMI. (Calderon & Bolivar, 2009)

1.3.2 Marco teórico

SCADA

“Es el acrónimo de supervisory control and data acquisition (supervisión, control y adquisición de datos). Un SCADA es un sistema que funciona con base de computadoras, que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador.” (Solano, 2011)

Adquisición de datos

“La adquisición de datos consiste en obtener señales adecuadas que representen los fenómenos físicos, que suceden en cada instante del proceso. Para la adquisición de estas señales es necesario que se tengan en cuenta los fenómenos físicos que se desean medir, tomando en cuenta que no todos los transductores o sensores son útiles para la misma medición.” (Solano, 2011)

Tipos de sensores

En el mercado se pueden encontrar muchos tipos de sensores, y subtipos derivados de estos. En el presente trabajo se presentarán los más comerciales en el mercado, los cuales se listan a continuación:

Detectores de ultrasonidos: “resuelven los problemas de detección de objetos de prácticamente cualquier material. Trabajan en ambientes secos y polvorientos. Normalmente se usan para control de presencia/ausencia, distancia o rastreo.” (Ogata, 2003)

Interruptores básicos: “se consiguen interruptores de tamaño estándar, miniatura, subminiatura, herméticamente sellados y de alta temperatura. Los mecanismos de precisión se ofrecen con una amplia variedad de actuadores y características operativas. Estos interruptores son idóneos para aplicaciones que requieran tamaño reducido, poco peso, repetitividad y larga vida.” (Ogata, 2003)

Interruptores finales de carrera: “El microswitch es un conmutador de dos posiciones con retorno a la posición de reposo, el cual viene con un botón o con una palanca de accionamiento, la cual también puede traer una ruedita. Funcionamiento: en estado de reposo la patita común (COM) y la de contacto normal cerrado (NC), están en contacto permanente hasta que la presión aplicada a la palanca del microswitch hace saltar la pequeña platina acerada interior y entonces el contacto pasa de la posición de normal cerrado a la de normal abierto (NO), se puede escuchar cuando el microswitch cambia de estado, porque se oye un pequeño clic, esto sucede casi al final del recorrido de la palanca.” (Ogata, 2003)

Interruptores manuales: “estos son los sensores más básicos, incluye pulsadores, llaves, selectores rotativos y conmutadores de enclavamiento. Estos productos ayudan al técnico e ingeniero con ilimitadas opciones en técnicas de actuación y disposición de componentes.” (Ogata, 2003)

Productos encapsulados: “diseños robustos, de altas prestaciones y resistentes al entorno o herméticamente sellados. Esta selección incluye finales de carrera miniatura, interruptores básicos estándar y miniatura, interruptores de palanca y pulsadores luminosos.” (H.Bischoff, 2004)

Productos para fibra óptica: “el grupo de fibra óptica está especializado en el diseño, desarrollo y fabricación de componentes optoelectrónicos activos y submontajes para el mercado de la fibra óptica.” (H.Bischoff, 2004)

Productos infrarrojos: “la optoelectrónica es la integración de los principios ópticos y la electrónica de semiconductores. Los componentes optoelectrónicos son sensores fiables y económicos. Se incluyen diodos emisores de infrarrojos (IREDs), sensores y montajes.” (H.Bischoff, 2004)

Sensores para automoción: “se incluyen sensores de efecto Hall, de presión y de caudal de aire. Estos sensores son de alta tecnología y constituyen soluciones flexibles a un bajo costo. Su flexibilidad y durabilidad hace que sean idóneos para una amplia gama de aplicaciones de automoción.” (Ogata, 2003)

Sensores de caudal de aire: “los sensores de caudal de aire contienen una estructura de película fina aislada térmicamente, que contiene elementos sensibles de temperatura y calor. La estructura de puente suministra una respuesta rápida al caudal de aire u otro gas que pase sobre el chip.” (Ogata, 2003)

Sensores de corriente: “los sensores de corriente monitorizan corriente continua o alterna. Se incluyen sensores de corriente lineales ajustables, de balance nulo, digitales y lineales. Los sensores de corriente digitales pueden hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. La señal lineal duplica la forma de la onda de la corriente captada, y puede ser utilizada como un elemento de respuesta para controlar un motor o regular la cantidad de trabajo que realiza una máquina.” (Ogata, 2003)

Sensores de humedad: “los sensores de humedad relativa/temperatura y humedad relativa están configurados con circuitos integrados que proporcionan una señal acondicionada. Estos sensores contienen un elemento sensible capacitivo en base de polímeros que interacciona con electrodos de platino. Están calibrados por láser y tienen una intercambiabilidad de +5% HR, con un rendimiento estable y baja desviación. • Sensores de presión y fuerza: los sensores de presión son pequeños, fiables y de bajo costo. Ofrecen una excelente repetitividad y una alta precisión y fiabilidad bajo condiciones ambientales variables. Además, presentan unas características operativas constantes en todas las unidades y una intercambiabilidad sin recalibración.” (H.Bischoff, 2004)

Sensores de temperatura: “los sensores de temperatura se catalogan en dos series diferentes: TD y HEL/HRTS. Estos sensores consisten en una fina película de resistencia variable con la temperatura (RTD) y están calibrados por láser para una mayor precisión e intercambiabilidad. Las salidas lineales son estables y rápidas.” (Ogata, 2003)

Sensores magnéticos: “los sensores magnéticos se basan en la tecnología magnetoresistiva SSEC. Ofrecen una alta sensibilidad. Entre las aplicaciones se incluyen brújulas, control remoto de vehículos, detección de vehículos, realidad virtual, sensores de posición, sistemas de seguridad e instrumentación médica.” (Ogata, 2003)

Sensores de presión: “los sensores de presión están basados en tecnología piezoresistiva, combinada con microcontroladores que proporcionan una alta precisión, independiente de la temperatura, y capacidad de comunicación digital directa con PC. Las aplicaciones afines a estos productos incluyen instrumentos para aviación, laboratorios, controles de quemadores y calderas, comprobación de motores, tratamiento de aguas residuales y sistemas de frenado.” (Ogata, 2003)

Equipo para adquisición de datos

Estos equipos de procesamiento generalmente constan de alta capacidad, ya que es necesario tener una velocidad adecuada de muestreo, según el proceso a medir. Entre estos equipos figuran:

DAQ: “la adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por una computadora. Es decir, consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).” (Solano, 2011)

Como ejemplo se muestra la figura 2



Figura 1. D.A.Q. (Virtual Instruments, s.f.)

PLC: “controlador de lógica programable (Figura 2), son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. Es un hardware industrial, que se utiliza para la obtención de datos. Una vez obtenidos, los pasa a través de bus (por ejemplo, por ethernet) en un servidor. Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).” (Solano, 2011)



Figura 2. PLC (RS, 2018)

Análisis de los datos adquiridos

“Luego de obtener los datos es necesario hacer que estos sean entendidos por los operarios, lo que obliga a hacerle transformaciones, escalamientos, operaciones matemáticas, etc.” (Solano, 2011)

Algunos tipos de análisis

Análisis estadístico: “utiliza la estadística y sus herramientas para hacer inferencias sobre las variables del sistema y por lo tanto por su comportamiento, algunas herramientas utilizadas en el análisis estadístico son: Varianza, Correlación, Covarianza, Histograma, Jerarquía y percentil, Regresión, Muestreo, Prueba T, Prueba Z” (Solano, 2011)

Análisis matemático: “utiliza las herramientas matemáticas para hacer los ajustes necesarios a los datos para su futuro despliegue, algunas de las herramientas son: Adición, Sustracción, Multiplicación, División, Porcentajes, Transformada Z, Transformada de Laplace, Transformada de Fourier, Series complejas, Etc.” (Solano, 2011)

Presentación de los datos en una interfaz gráfica

Esta parte consiste en la presentación de los datos al usuario final, es decir al operario. Los datos deberán estar en unidades adecuadas, con imágenes que representen adecuadamente cada etapa del proceso con sus respectivas variables; además la interfaz entre humano y máquina, HMI (Human machine interface), debe ser capaz de desplegar al operario, las alarmas que sucedan en el instante preciso de su acontecimiento ya que de

esa forma el usuario puede hacer los ajustes necesarios para que el proceso siga o si es necesario, detener el proceso. (Solano, 2011)

Bases de datos

Definición: Una base de datos suele definirse como un conjunto de información organizada sistemáticamente. En la terminología propia de las bases de datos hay tres conceptos claves dentro de las tablas: campo, registro y dato.

MySQL: MySQL es un sistema de administración de bases de datos (Data base Management System, DBMS) para bases de datos relacionales. Es la base de datos de código libre más popular y, posiblemente la mejor del mundo. Su continuo desarrollo y su creciente popularidad están haciendo de MySQL un competidor cada vez más directo de gigantes en la materia de las bases de datos como Oracle. (Esepestudio, 2005)

Lenguaje de Consultas El lenguaje de consulta estructurado o SQL (por sus siglas en inglés Structured Query Language) es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en éstas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo efectuar consultas con el fin de recuperar información de interés de una base de datos, así como también hacer cambios sobre ella. (Perez, 2013)

Comunicaciones Los protocolos de comunicación que se implementaron en el sistema SCADA, son: Ethernet, Serial y OPC.

Protocolo Ethernet

Es un protocolo estándar de redes de computadoras de área local. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI. La Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos. Ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red. Los elementos de una red Ethernet son: tarjeta de red (Figura 3), repetidora, concentradora, puentes, los conmutadores, los nodos de red y el medio de interconexión. Para configurar esta comunicación solo se necesita establecer el puerto del servidor y la dirección IP del servidor (Udep, 2008). El elemento físico que permite esta comunicación es el cable Ethernet, especial para estas funciones (Figura 4)



Figura 3. Tarjeta de red (González, 2004)



Figura 4. Cable Ethernet RJ-45 (García A. , 2018)

Protocolo Serial

Un puerto serie o puerto serial es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, frecuentemente utilizado por computadoras y periféricos, donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, en contraste con el puerto paralelo que envía varios bits simultáneamente. La comparación entre la transmisión en serie y en paralelo se puede explicar usando una analogía con las carreteras. Una carretera tradicional de un sólo carril por sentido sería como la transmisión en serie y una autopista con varios carriles por sentido sería la transmisión en paralelo, siendo los vehículos los bits que circulan por el cable (Udep, 2008).

Comunicación OPC

Actualmente los sistemas SCADA disponen de un tipo de comunicación que se ha convertido en un estándar a nivel internacional para transferir datos independientemente de la aplicación y del lenguaje de comunicación; dicho estándar es el denominado OPC. El OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos, que permite que diferentes fuentes

envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con este. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con drivers para dialogar con múltiples fuentes de datos, basta que tengan un driver OPC. Tiene como propósito cubrir las necesidades de acceso en forma estándar de las distintas aplicaciones hacia los dispositivos o base de datos. Es decir, una aplicación X y una Y se podrían comunicar con distintos servidores A, B, C de diferentes protocolos de comunicación, siempre y cuando estos tengan interfaces OPC las cuales se les puede aprovechar para conectarlas con las aplicaciones (Udep, 2008) (Figura 5).

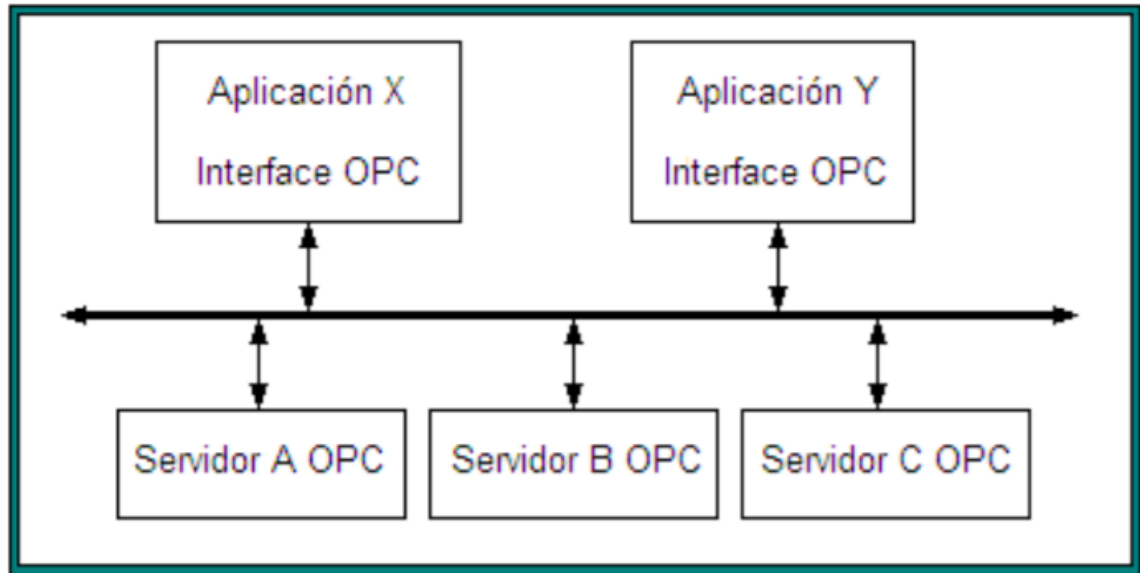


Figura 5. Funcionamiento comunicación OPC (Udep, 2008)

En la actualidad la mayoría de los dispositivos controladores contienen drivers OPC, por tanto, no es necesario adaptar los drivers ante nuevos dispositivos de otras marcas. Ya que esta arquitectura es de entorno heterogéneo, es decir integra equipos de distintos fabricantes y simplifica las comunicaciones. Un cliente OPC se puede conectar a múltiples servidores OPC, tan solo direccionándolos. El siguiente ejemplo establece el sistema SCADA como cliente OPC y a los dispositivos como los servidores, ambos se pueden conectar aun teniendo diferentes protocolos de comunicación gracias a la comunicación OPC (Udep, 2008) (Figura 6).

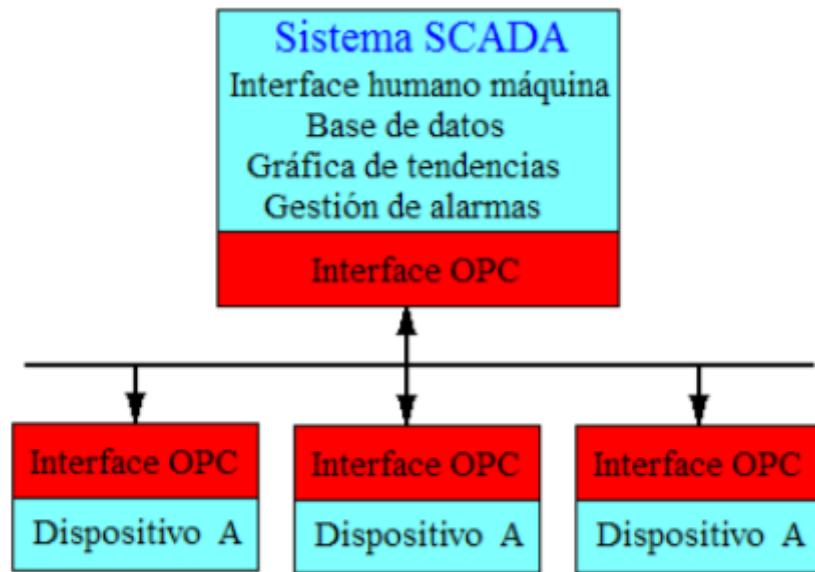


Figura 6. Comunicación OPC en SCADA (Udep, 2008)

Elementos de la comunicación OPC:

El servidor

- Mantiene información sobre el servidor.
- Sirve como contenedor para objetos del grupo OPC.

El grupo

- Mantiene información sobre sí mismo.
Provee mecanismos para contener/organizar lógicamente ítems.

El elemento

- Representan conexiones a fuentes de datos dentro de un servidor. (Udep, 2008)

2. METODOLOGÍA

Este trabajo de grado se realiza bajo la metodología presentada por Ulrich & Eppinger, 2009, en su libro: "Diseño y desarrollo de productos". Así pues, el desarrollo del proyecto está dividido en las siguientes etapas:

2.1 Identificación de requerimientos

Se realiza una caracterización de los entornos industriales, las plantas, sensores, y demás dispositivos que se implementan en estas aplicaciones, teniendo en cuenta características de distintas índoles con el fin de tener un amplio panorama tanto de los parámetros de desempeño deseados como de las necesidades del proyecto en general.

2.2 Diseño de concepto

El objetivo de esta etapa es idear de manera general, teórica y clara la realización del proyecto. Teniendo en cuenta que el problema del trabajo ya está claro se comienza identificando las necesidades más vitales para la realización de este y paralelamente se examinan las métricas y su importancia, para transponerlas y finalmente llegar a una matriz que relaciona ambas. Se realiza posteriormente una caja negra para comprender las funciones que debe realizar el dispositivo general, y se pasa a realizar una caja de cristal para analizar con más detalle las diferentes operaciones que se deben ejecutar para su solución. Como resultado del registro de soluciones se llegan a diferentes opciones de tecnologías que según las necesidades encontradas y de acuerdo a sus especificaciones se seleccionan las más propicias para el proyecto basándose en la metodología de la matriz morfológica. Se agrupan las distintas soluciones encontradas para ser puestas a prueba en busca de analizar la viabilidad del software en términos de su facilidad de implementación y configuración, su flexibilidad de comunicación con los demás dispositivos, capacidad de manejo de información, entre otros; para así seleccionar las tecnologías más adecuadas y óptimas.

2.3 Diseño de detalle

Esta fase incluye la especificación de las características puntuales de las partes únicas del sistema, tales como la comunicación, las tolerancias, la disposición de los elementos, y el diseño de los controladores. Es necesario definir los procesos y las herramientas necesarias para el desarrollo del SCADA.

Esta etapa comienza con la identificación de los procesos a controlar, seguido del diseño e implementación del tipo de controlador. Posteriormente, se realiza el acondicionamiento de la comunicación, entre el sistema físico y el sistema virtual, este último siendo el que registra los datos de los procesos, e interactúa con el usuario final. Se realizarán diferentes pruebas para validar la interacción entre los diferentes módulos planteados anteriormente. Es importante mencionar que es en esta fase donde se obtiene el registro del diseño de los

controladores, de los programas de los PLC's, y las gráficas de comportamiento de los sistemas.

2.4 Desarrollo del sistema

Contando con los diseños de los diferentes elementos del proyecto estipulados en etapas anteriores, se comienza con la programación de la comunicación y de los controladores tan pronto como sea posible. Posteriormente se realizan pruebas de implementación en entornos controlados para verificar su funcionamiento, y poder realizar el escalado e integrar todos los componentes y procesos de este SCADA.

2.5 Pruebas y refinamiento

Esta fase busca verificar el comportamiento del sistema propuesto, es decir, que en realidad cumpla las necesidades para las cuales fue diseñado. Para esto, se realiza un monitoreo del SCADA utilizando los sensores que se encuentran ubicados, en cada una de las plantas de la Universidad EIA. Para dicha tarea, es necesario implementar un entorno que permita visualizar en tiempo real, los valores (señales, de control y salida de las plantas), que se transmiten del entorno virtual al entorno físico y viceversa. Luego, se acopla la interfaz gráfica de usuario final con el entorno físico, lo que da inicio a las pruebas y verificaciones de operación finales del sistema.

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

En la tabla 1 se puede apreciar el funcionamiento del sistema, siendo influido por las necesidades indicadas, partiendo de las particularidades de las generalidades de los sistemas de control, en relación a la industria colombiana. Teniendo en cuenta la importancia de realzar las características que le aportan, pues también se exhibe la inaudible importancia que cada equipo le aporta a cada necesidad, en motivo de identificar las características del proyecto.

Tabla 1.
Matriz de necesidades

#	Necesidad	Importancia
1	El dispositivo se comunica por protocolo permisible	5
2	El software admite PLC siemens 1200	5
3	El sistema es de bajo costo	4
4	Comunicación con servidores abiertos	3
5	El sistema permite comunicación en ambos sentidos	4
6	El sistema permite alertar o notificar	3
7	La interfaz de usuario del sistema es amigable	3
8	Fácil instalación del dispositivo	3
9	Garantizar la transmisión y recepción completa de datos	5

Ya definidas las necesidades se realiza la tabla que permitirá establecer una medida para poder calificar o cuantificar la necesidad mediante una variable medible y de esta forma tener un criterio de evaluación más objetivo como se ve representado en la tabla 2, y poder

realizar una matriz que compare de manera objetiva las métricas con las necesidades establecidas como se ve representada en la tabla 3.

Tabla 2.
Matriz métricas

Métrica núm.	Núm. de necesidad.	Métrica	Imp.	Unidades
1	1	Maneja protocolo profinet	5	Binario
2	2	Conexión con PLC	5	Binario
3	3	Costo de implementación	4	COP
4	4	Servidores para comunicación de datos	3	Lista
5	5	Capacidad para mandar y recibir información	4	Binario
6	6	Advertir al usuario en caso de un evento especial	3	Binario
7	7	Facilidad de control del dispositivo	3	Subjetivo
8	8	Complejidad en la instalación	3	Subjetivo
9	9	Seguridad de los datos	5	Subjetivo

Tabla 3.
Matriz de necesidades-métricas

		Métrica								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Protocolo Profinet	Conexión con PLC	Costo de implementación	Servidores para comunicación de datos	Capacidad para mandar y recibir información	Advertir al usuario en caso de un evento especial	Facilidad de control del dispositivo	Complejidad en la instalación	Seguridad de los datos
Necesidad										
1	El dispositivo se comunica por protocolo permisible	●	●		●					
2	El software admite PLC siemens 1200	●	●							
3	El sistema es de bajo costo			●						
4	Comunicación con servidores abiertos	●			●					
5	El sistema permite comunicación en ambos sentidos					●				
6	El sistema permite alertar o notificar						●			
7	La interfaz de usuario del sistema es amigable						●	●		
8	Fácil instalación del dispositivo			●					●	
9	Garantizar la transmisión y recepción completa de datos									●

3.1.1 Comparación con soluciones existentes

Después de analizar y comparar las soluciones existentes en la industria, se definen las especificaciones para el proyecto que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4.
Especificaciones de objetivo

Medida	Deseada	Aceptada	Unidades
Open source	Sí	Sí	Binario
Costo de implementación	500.000	700.000	COP
Conexión PLC S7	Si	Si	Binario
Complejidad en la instalación	Baja	Media	Subjetivo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE CONCEPTO

Contando con una noción mucho más clara del funcionamiento de este tipo de dispositivos, sus características, funciones principales, y las necesidades del proyecto identificadas; se procede con el desarrollo del diseño de concepto de este. Se comienza con la elaboración de una caja negra, que especifica las entradas y salidas del dispositivo, en términos de materiales, energía, e información; para continuar con una caja transparente, en dónde se evidencian los procesos necesarios para transformar la energía, el material, y la información de entrada, en las salidas deseadas.



Figura 7. Caja negra del sistema SCADA

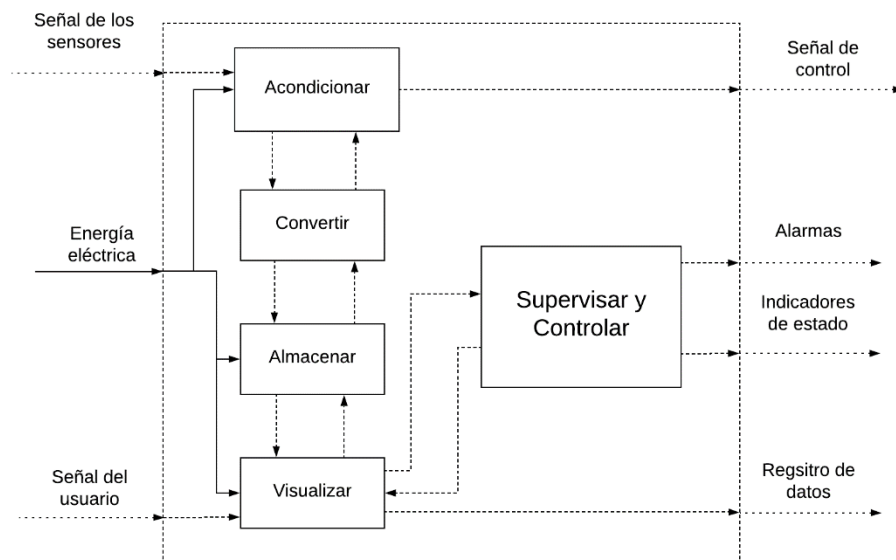






Figura 8. Caja transparente del sistema SCADA

3.2.1 Registro de soluciones

Tabla 5.

Registro de soluciones – controladores

Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (RS, 2018)	PLC: un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. (SIEMENS, s.f.)	Estructura de Programación en paralelo. De fácil adquisición. Mínimo espacio. Economía en el mantenimiento. Fiabilidad del sistema.	Necesidad de un programador. Si un PLC falla puede sacar de funcionamiento varios procesos. Posible incompatibilidad en temas de comunicación.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (Virtual Instruments, s.f.)	DAQ: tarjeta de adquisición que toma un conjunto de señales físicas, las convierte en tensiones eléctricas y las digitaliza de manera que puedan ser leídas por un computador	Alta velocidad de medición	Alto costo Limitante debido a que su principal uso es adquisición de datos más no control de estos
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (ARDUINO, 2018)	Arduino: es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. (Wikipedia, 2018)	Open Source Bajos costos De fácil adquisición Entorno de programación simple y directo	Retraso en la ejecución de las instrucciones por el uso de extensas librerías Flexibilidad limitada debido a que la PCB ya está armada
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (NI, 2018)	myRIO-1900: es una herramienta que se utiliza para implementar múltiples conceptos de diseño con un dispositivo de E/S reconfigurables (RIO).	Gran capacidad de memoria Programación en bloques a través de LabVIEW	Alto costo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 6.

Registro de soluciones – sistema de adquisición de datos







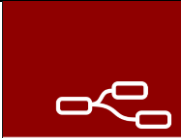


Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 <p>(Virtual Instruments, s.f.)</p>	DAQ: tarjeta de adquisición que toma un conjunto de señales físicas, las convierte en tensiones eléctricas y las digitaliza de manera que puedan ser leídas por un computador	Alta velocidad de medición	Alto costo Limitante debido a que su principal uso es adquisición de datos más no control de estos
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 <p>(ARDUINO, 2018)</p>	Arduino: es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. (Wikipedia, 2018)	Open Source. Bajos costos. De fácil adquisición. Entorno de programación simple y directo.	Retraso en la ejecución de las instrucciones por el uso de extensas librerías Flexibilidad limitada debido a que la PCB ya está armada
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 <p>(NI, 2018)</p>	myRIO-1900: es una herramienta que se utiliza para implementar múltiples conceptos de diseño con un dispositivo de E/S reconfigurables (RIO). Con E/S en ambos lados del dispositivo en forma de conectores MXP y MSP	Gran capacidad de memoria. Programación en bloques a través de LabVIEW. Se puede utilizar como una FPGA.	Alto costo Se aconseja tener un computador para ser monitoreado como target

Tabla 7.

Registro de soluciones – sistema SCADA

Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (WATER, s.f.)	VTSCADA: es una aplicación de desarrollo intuitiva con un HMI amigable para operarios, con posibilidad de histórico de datos, tendencia, gestión de alarmas e informes de estadística.	Soporte de seguridad para usuarios. Conectividad a bases de datos tales como OPC, ODBC Historian, SQL Queries, y SOAP. Es un software de código abierto por lo tanto es de fácil adquisición.	Al ser de código abierto no posee soporte del proveedor.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (García J. , 2016)	WinCC: es un sistema de visualización de procesos escalable y dotado de potentes funciones para la supervisión de procesos automatizados. WinCC aporta funcionalidad SCADA completa en Windows para todos los sectores, desde sistemas mono puesto hasta sistemas multipuesto. (SIEMENS, s.f.)	Capacidad multiusuario. Clientes web Microsoft SQL Server integrado. Por ser siemens tiene más compatibilidad con el PLC.	Es necesario la obtención de una licencia para poder ser utilizado No tan amigable para programar Más inclinado a HMI que a SCADA
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (Aggregate, s.f.)	AggreGate: es un sistema para visualizar y operar procesos, flujos de producción, máquinas y plantas. Es una solución distribuida multiusuario altamente confiable que proporciona control de supervisión y monitoreo para muchos sectores. (Aggregate, s.f.)	Gráficos en tiempo real. La aplicación integrada HMI Builder simplifica la creación de interfaces hombre-máquina para visualizar procesos	Al ser de código abierto no posee soporte del proveedor. Por no ser siemens la compatibilidad con los PLC de gama S7

Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 Node-RED (wikipedia, s.f.)	Node Red: es una herramienta de desarrollo web basado en el sistema cliente-servidor el cual deja interactuar con distintos dispositivos a través de distintos protocolos como lo son TCP/IP, MODBUS entre otros.	<p>Es un software de código abierto por lo tanto es de fácil adquisición</p> <p>Permite monitoreo móvil desde un servidor web</p> <p>HTML5, CSS3 y JavaScript le permiten crear funciones definidas por uno mismo e incluso elementos de control.</p>	<p>Es necesario una conexión estable a internet para poder ser programado.</p> <p>Puede ser vulnerado fácilmente al ser un servidor web si este es publicado.</p>
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (TANGO, 2015)	Tango: es una solución de código abierto para SCADA y DCS. Código abierto significa que obtiene todo el código fuente bajo una licencia libre de código abierto (LGPL y GPL). (TANGO, 2015)	<p>Es un software de código abierto por lo tanto es de fácil adquisición</p> <p>Es altamente escalable y se ejecuta en pequeñas plataformas integradas, así como en grandes instrumentos distribuidos.</p>	<p>Al ser de código abierto no posee soporte del proveedor</p>
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (Honeywell, 2018)	Experion: es una poderosa plataforma de software con aplicaciones innovadoras para una interfaz humano-máquina (HMI) superior y un sistema multi servidor integrado altamente escalable. (Honeywell, 2018)	<p>La base de datos en tiempo real proporciona datos a varias aplicaciones de cliente.</p> <p>Realiza informes de manera automática.</p>	<p>Es necesaria la obtención de una licencia para poder ser utilizado.</p>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En concordancia con lo anterior, el respectivo registro de soluciones para la función Enviar, se presenta a continuación.

Tabla 8.
Registro de soluciones – bases de datos



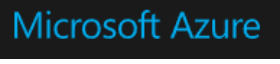


Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (MySQL, 2018)	MySQL: es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto (RDBMS) basado en Structured Query Language (SQL).	Es de código abierto MySQL se ejecuta en prácticamente todas las plataformas y puede ser programado con distintos lenguajes.	Tiene una preocupante tendencia a detenerse si se ve forzado a manejar demasiadas operaciones. La base de datos no es totalmente compatible con SQL.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (ORACLE, s.f.)	ORACLE: base de datos líder de la industria. Diseñado con inteligencia artificial integrada y aprendizaje automático adaptable, Oracle Autonomous Database Cloud ofrece simplicidad, disponibilidad sin precedentes y rendimiento.	Se puede ejecutar en múltiples sistemas operativos. Puede usar varios servidores para trabajar en la misma base de datos con la función Real Application Cluster.	Se necesita pagar una suscripción mensual para hacer uso de la base de datos Oracle SQL también es más difícil de aprender y operar que sus competidores.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 (Microsoft, 2018)	Azure: es un conjunto integral de servicios en la nube que los desarrolladores y los profesionales de TI utilizan para crear, implementar y administrar aplicaciones (Microsoft, 2018)	Almacenamiento de Gráficas DBMS. Almacenamiento de valor clave. Servidor basado en la nube.	Es necesario adquirir una licencia para ser usado. Soporta pocos lenguajes de programación comprado con otras bases de datos.

Tabla 9.
Registro de soluciones – PLC

Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 <p>(RS, 2018)</p>	<p>PLC SIEMENS: un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. (SIEMENS, s.f.)</p>	<p>Estructura de Programación en paralelo.</p> <p>De fácil adquisición.</p> <p>Mínimo espacio.</p> <p>Economía en el mantenimiento.</p> <p>Fiabilidad del sistema.</p>	<p>Necesidad de un programador.</p> <p>Si un PLC falla puede sacar de funcionamiento varios procesos.</p> <p>Posible incompatibilidad en temas de comunicación.</p>
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
 <p>(Allen Bradley, 2018)</p>	<p>PLC Rockwell: sistemas de control de altas prestaciones satisfacen necesidades de aplicación más exigentes. Ofrecen arquitecturas modulares y un rango de opciones de E/S y red. Estas poderosas soluciones de control ofrecen capacidades de primer nivel tales como procesos, seguridad y movimiento. (Allen Bradley, 2018)</p>	<p>Maneja línea de PLC compacto el cual incluye la pantalla HMI montada sobre él mismo.</p> <p>Fácil importación de entradas y marcas desde Excel al sistema SCADA.</p> <p>Ofrece programas con funciones que facilitan la programación y agiliza los tiempos.</p>	<p>Es necesario la compra ya que no se encuentra en las instalaciones de la universidad EIA.</p> <p>Encapsulamiento reducido en la programación, utilizando variables locales a nivel de rutinas.</p> <p>Para su conexión es necesario la fuente de alimentación Allen Bradley y el rack Allen Bradley también.</p>
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas




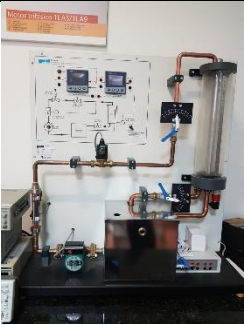

	PLC Hitachi: Los PLC de Hitachi se han desarrollado especialmente para funciones de red, debido a su alta flexibilidad y a su gran capacidad de comunicación, se ha convertido en un estándar en su clase.	Especiales para comunicación en red.	Número limitado de funciones lógicas programables.
		Su programación es más intuitiva que la de otros PLC.	Es necesario la compra ya que no se encuentra en las instalaciones de la universidad EIA.
		Capacidad de soluciones en movimiento integradas.	Su soporte es fuerte en Japón mas no en otros países.
		Admite la mayoría de los protocolos de comunicación en especial el profibus.	No posee la capacidad de resolver soluciones redundantes.

Tabla 10.
Registro de soluciones – plantas UEIA







































Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
	Es una planta que funciona por medio de un microondas que calienta una resistencia y se mide así la temperatura.	Disponible en la universidad. El modelo que describe la planta es sencillo.	La respuesta de la planta y el tiempo de estabilización son muy lentos.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
	Es una planta que mide el nivel de agua en un tanque a partir de unos sensores, construida en la universidad.	Disponible en la universidad.	Válvulas de control de apertura mecánicas. La respuesta de la planta y el tiempo de estabilización son muy lentos.
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas

	<p>Es una planta que mide tanto flujo como nivel a partir de distintos sensores.</p>	<p>Disponible en la universidad.</p> <p>Válvulas de control de apertura electrónicas.</p>	<p>La respuesta de la planta y el tiempo de estabilización son muy lentos.</p>
Alternativa de Solución	Definición	Ventajas	Desventajas
	<p>Es una planta que mide la presión en un tanque a partir de un manómetro, construida en la universidad</p>	<p>Disponible en la universidad.</p> <p>La respuesta de la planta y el tiempo de estabilización son rápidos.</p> <p>Maneja un presostato en caso de que la presión exceda cierto límite.</p>	<p>Las válvulas de alivio son manuales.</p>

3.2.2 Matriz Morfológica

Para continuar con el diseño de concepto se construye una matriz con las tecnologías reportadas en cada registro de soluciones, para las diferentes funciones del dispositivo, y se trazan rutas que definen los componentes que conforman los conceptos preliminares.

Tabla 11.
Matriz morfológica

		Conceptos Solucion			
Modulo de Control	Tipo Controlador	 	 	 	
	Tipo de Controlador PLC	 	 	 	
Modulo de Adquisicion Datos	Sistema Adquisicion de datos	 	 	 	
Modulo de Almacenamiento de datos	Base de Datos	 	 	 	
Modulo de Proceso	Planta a Controlar 1	Planta de Temperatura 	Planta de Nivel EIA  	Planta de Nivel GUNT	Planta de Presion
	Planta a controlar 2	Planta de Temperatura 	Planta de Nivel EIA 	Planta de Nivel GUNT	Planta de Presion 
Modulo SCADA	Software SCADA a Usar	 		 	 

Descripción de conceptos

Concepto A

El controlador es una pieza fundamental para que el sistema mantenga una buena comunicación entre sus elementos, los PLC son los controladores más usados en la industria debido a su robustez y fiabilidad, por lo tanto, es una pieza fundamental y conocida. Una de las grandes ventajas es que trabaja modularmente, es decir, tiene la ventaja de expandir su estructura agregando nuevos módulos, logrando así ampliar la operatividad para aplicaciones de mayor capacidad.

La tarjeta de adquisición de datos myRIO-1900 es ampliamente usada para las tareas de adquisición y de control de datos, en ambientes investigativos por lo que se hace necesario una alta precisión y exactitud lo que eleva sus precios y no lo hace tan atractivo industrialmente.

El PLC Hitachi puede realizar tareas de control y comunicación, el cual se especializa en la comunicación en red, su programación es más intuitiva que la de otros PLC, pero al no

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

tener acceso al software para su programación y al no tener este dispositivo disponible se hace necesario una inversión mayor.

La base de datos ORACLE es una de las bases de datos líderes en la industria pues está desarrollada con inteligencia artificial y aprendizaje automático adaptable, brindando más adaptabilidad y optimización de tiempos. Desafortunadamente este software no es open source y nuevamente para el proyecto a realizar no son necesarias todas estas tecnologías.

La planta de temperatura a pesar de estar muy presente en la industria, la forma en que está construida específicamente la de la universidad hace que su respuesta no sea rápida, lo que haría todo el proceso más lento y no se podría evidenciar fácilmente lo propuesto en esta tesis al igual que la planta de nivel de la EIA que además de esto todas sus válvulas son manuales y la única variable por controlar desde un PLC es el flujo de salida de la bomba.

El software SCADA TANGO tiene la ventaja de ser open source, pero su mayor falencia es no tener un buen soporte para PLC S7 1200, que es el que se va a implementar y por esta razón es que no es una opción viable.

Concepto B

El controlador es una pieza fundamental para que el sistema mantenga una buena comunicación entre sus elementos, los PLC son los controladores más usados en la industria debido a su robustez y fiabilidad, por lo tanto, es una pieza fundamental y conocida. Una de las grandes ventajas es que trabaja modularmente, es decir, tiene la ventaja de expandir su estructura agregando nuevos módulos, logrando así ampliar la operatividad para aplicaciones de mayor capacidad.

Para la adquisición de datos es necesario una tarjeta que permita identificar los sistemas y recolectar datos, para esta tarea existen varios dispositivos entre estos se encuentra las tarjetas DAQ las cuales son portables y se pueden programar mediante LabVIEW el cual posee un lenguaje de programación por bloques lo que simplifica esta tarea y ya se tiene experiencia en el uso del software.

Para la elección cual PLC es el más efectivo para este proceso tanto por la disponibilidad, su capacidad de procesamiento y sus protocolos de comunicación, por lo que el PLC S7 1200 al tener una disponibilidad inmediata y sin necesidad de inversión, ya que se proveerá por la universidad, es el más adecuado. A su vez cumple con todas las características de desempeño y comunicación necesarias para realizar la transmisión de información.

Teniendo el sistema identificado y el controlador programado se procede a guardar la información; este paso se puede realizar haciendo uso de MySQL la cual permite tener un registro del comportamiento y recopilar los datos competentes de tal manera que se pueda acceder a estos desde distintos dispositivos de visualización de datos.

Para la selección de las plantas a controlar se tuvo en cuenta distintos parámetros tales como la escalabilidad a la industria, la velocidad de respuesta y el conocimiento previo; la planta de nivel maneja una ventaja muy grande frente a las demás debido a su facilidad de control y a que se había trabajado con ella anteriormente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Para el sistema SCADA es necesario un software que permita realizar una comunicación entre todos los dispositivos mencionados anteriormente y el usuario final mediante una interfaz gráfica que permita visualizar todas las variables pertinentes para esto se utiliza Node-Red, software open source que permite realizar todas estas acciones de manera eficaz.

Concepto C

Las tarjetas Myrio 1900 aunque tiene un gran desempeño tanto como controladores y como tarjetas de adquisición de datos, debido a que también se comportan como FPGA, esto los hace muy confiables y de alta potencia de cómputo, pero los convierte en los dispositivos menos asequibles de los anteriores mencionados debido a su alto costo.

Para la adquisición de datos se utilizará un sistema Arduino el cual deberá ser programado para funcionar como una tarjeta de adquisición de datos esto complicaría y haría el trabajo más lento debido a la complejidad de este programa, a su vez la tarjeta Arduino es la más asequible de todos los dispositivos por lo que también es viable desde el lado económico.

Como base de datos se eligió Microsoft Azure el cual es la única en su tipo al ofrecer historial y gráficas representativas de manera Automática sin necesidad de programación extra esto brinda la posibilidad de realizar curvas de tendencia, esta base de datos es de pago mensual por lo que es necesario suscribirse.

La planta de temperatura a pesar de estar muy presente en la industria, la forma en que está construida específicamente la de la universidad es muy lenta, lo que haría todo el proceso más lento y no se podría evidenciar fácilmente lo propuesta en esta tesis al igual que la planta de nivel de la EIA que además de esto todas sus válvulas son manuales y la única variable por controlar desde un PLC es el flujo de salida de la bomba.

Tango al ser un software de código abierto permite adquirirlo fácilmente, y una de sus grandes facultades es que es altamente escalable lo que permite ejecutarlo en pequeñas plataformas para poder llevarlo a un proceso industrial de gran tamaño, este software posee un manual de usuario online el cual le permite a una persona obtener conocimiento de su programación con mayor facilidad.

3.2.3 Selección de concepto

Con base en los intereses del proyecto, se estipulan varios criterios de decisión que permitan seleccionar el concepto que mejor se ajuste a las necesidades propuestas, para desarrollarlo. En la Tabla 12 se muestran los diferentes criterios propuestos, la importancia o peso de dicho criterio para la selección del concepto, y la respectiva calificación (C.) y ponderación (P.) de cada concepto, bajo cada criterio. Dichas ponderaciones se suman para generar una calificación general de cada concepto y su valor se toma como guía en la selección del concepto a desarrollar.

Para la elección de estos criterios se tuvo en cuenta las tablas de métrica, objetivos y la matriz de necesidades. (Ver Tabla.1, Tabla.3, Tabla.4)

Tabla 12.
Matriz de decisión

		Concepto A		Concepto B		Concepto C	
Criterio de decisión	Peso	C.	P.	C.	P.	C.	P.
Disponibilidad tecnológica en el país	20%	3,5	0,7	4,5	0,9	4	0,8
Accesibilidad a documentación y software	20%	2,5	0,5	5	1	4,5	0,9
Costos procesadores	20%	1	0,2	3	0,6	3,5	0,7
Nivel de integración de las tecnologías	40%	2	0,8	4,5	1,8	3,5	1,4
Total puntos		2,2		4,3		3,8	
Posición		3		1		2	
¿Desarrollar?		NO		SI		NO	

Se evidencia entonces que el concepto B es seleccionado como el más acorde a las necesidades del proyecto y, por tanto, será el concepto por desarrollar. Debido a su puntaje el cual tiene gran peso por su gran disponibilidad al ser dispositivos que no son necesario comprar ya que están a disposición inmediata y su gran integración ya que tanto los dispositivos como los softwares escogidos tienen una capacidad de integración muy alta.

3.3 Diseño de detalle

Después de seleccionar el concepto según la matriz de decisión de la tabla 10 , se procede a desarrollar cada uno de los sistemas necesarios para obtener el sistema final, para esto inicialmente se deben realizar los diseños de cada uno de los controladores de las plantas escogidas, se debe diseñar la interfaz gráfica en el ordenador así como una base de datos para almacenar la información que recopilara el sistema de cada uno de los procesos, y por ultimo configurar la comunicación entre estos 3 elementos para lograr la integración del sistema integrado.

3.3.1 Diseño del controlador de presión

Para este experimento se excitó la planta con múltiples señales escalón, generadas a partir de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), controlada por LabVIEW; quien facilita la lectura de los sensores, se tiene en cuenta que el funcionamiento de la planta de presión es a través de un tanque que almacena aire comprimido el cual genera presión en este ambiente que va de 0 a 25 psi, mientras que una válvula posicionadora Siemens realiza procesos de apertura o cerramiento para dar paso al aire y finalmente generar una presión en el tanque, sabiendo el funcionamiento de la planta y el método en el que se obtuvieron los datos finalmente se obtiene las curvas de comportamiento del sistema como se ve en la Figura 9. Gráfico del comportamiento de la planta de .

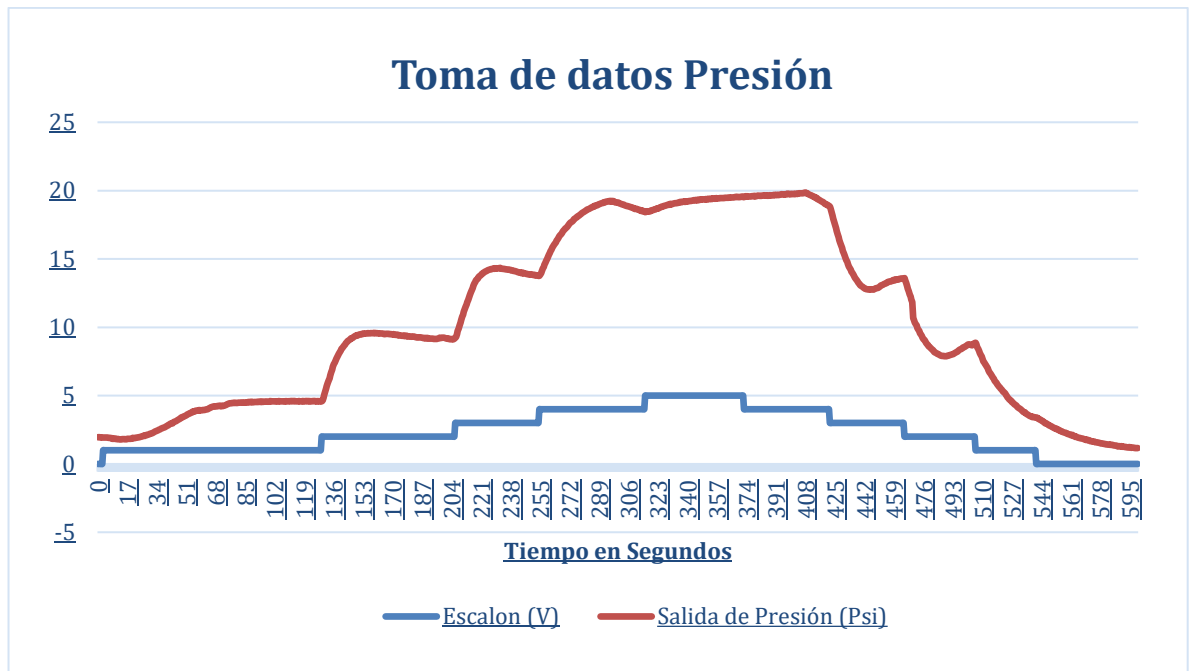


Figura 9. Gráfico del comportamiento de la planta de presión

A partir de los datos mostrados anteriormente se procede a realizar una identificación del sistema con ayuda del software MATLAB y su función `ident`, la cual arroja múltiples ecuaciones tanto de primer y segundo orden. Se escoge la que mejor fit tenga, es decir la función más semejante al comportamiento de la planta como se ve en la Figura 10. Modelos Matlab Ident, y se procede al diseño del controlador por estructura fija.

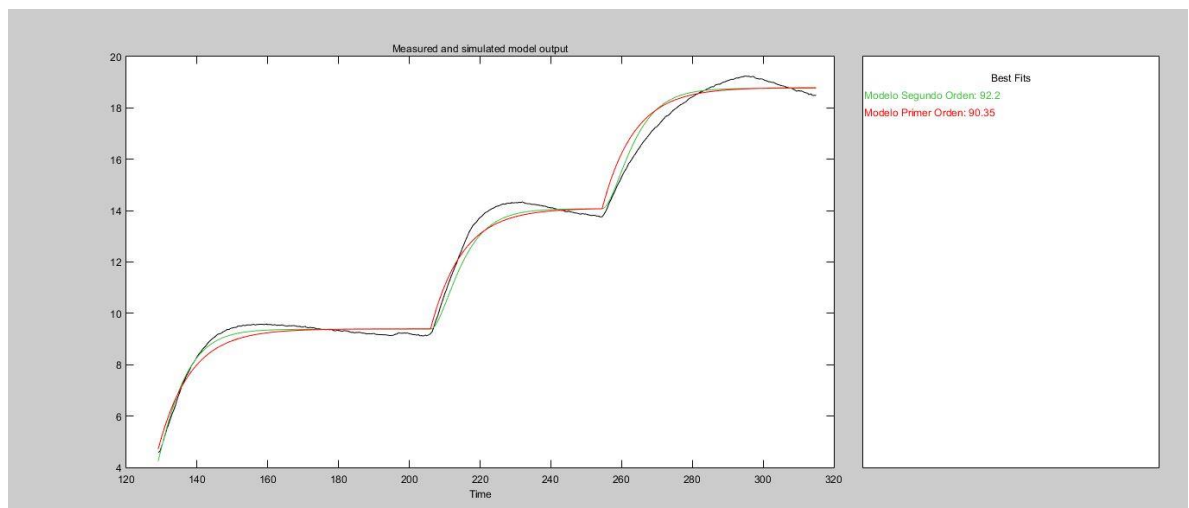


Figura 10. Modelos Matlab Ident

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Con la función de transferencia de la planta dada por ident Ecuación 1 se procede a realizar el diseño del controlador utilizando el método de estructura fija. Para este método se parte de una ecuación general

$$Kp * \left(1 + Td * s + \frac{1}{Ti * s} \right) \quad (1)$$

Teniendo los valores de las constantes de integración (Ti), derivación (Td), y proporcional (Kp), se realizan las validaciones del controlador utilizando MATLAB, y así tener un estimado de cómo se va a comportar el sistema controlado como se ve en la *Figura 11*

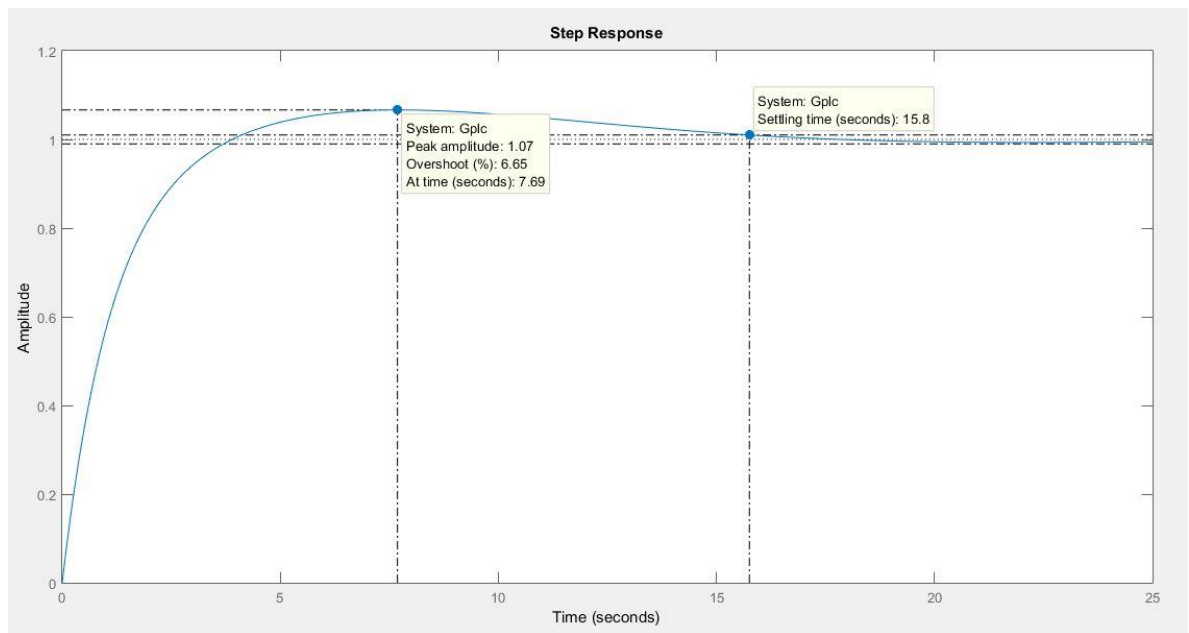


Figura 11. Simulación sistema lazo cerrado

Con base en las validaciones de las simulaciones, se procede a su implementación física en el PLC mediante su módulo PID donde se agregan los valores de las constantes ya mencionadas.

La entrada del PLC es una señal enviada por la planta de presión que oscila entre 1 y 5 V, esta señal se debe normalizar y escalar utilizando los módulos “SCALEX” y “NORM”, para así entrar al controlador y obtener una salida analógica que entra directamente a la planta. (Ver Figura 16).

3.3.2 Diseño del controlador de Nivel

Teniendo ya una caracterización de la planta de nivel EIA, es decir, teniendo ya la función de transferencia que la representa como se ve en la ecuación 2, se pasa al diseño de un controlador PID por asignación de polos sabiendo que el tiempo de estabilización de la planta en lazo abierto es de 326 segundos y es una planta con una respuesta al impulso sobre amortiguada según la Figura 12

$$FT = \frac{0.000766}{s^2 + 0.05241 s + 0.0005283} \quad (2)$$

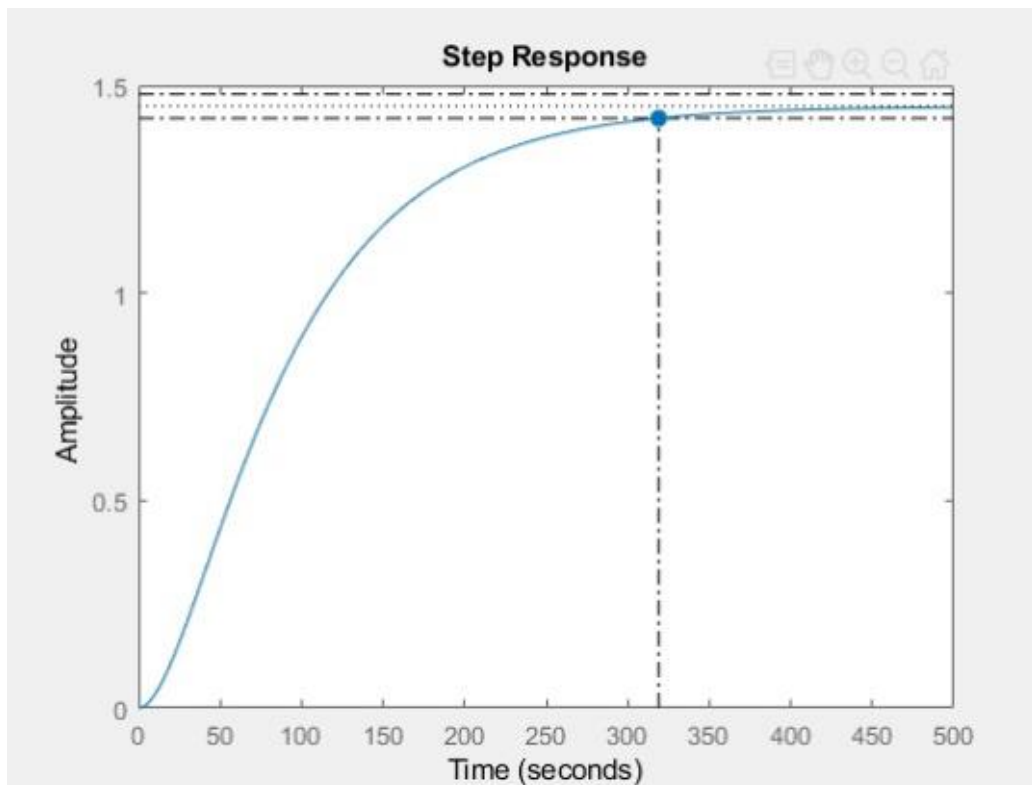


Figura 12. Respuesta al impulso planta de nivel

Se realiza el controlador de esta planta, de manera que el PID reciba las señales de control deseadas por el usuario y éste según la realimentación obtenida envía, como se observa en la Figura 13 señales de 0 a 100%

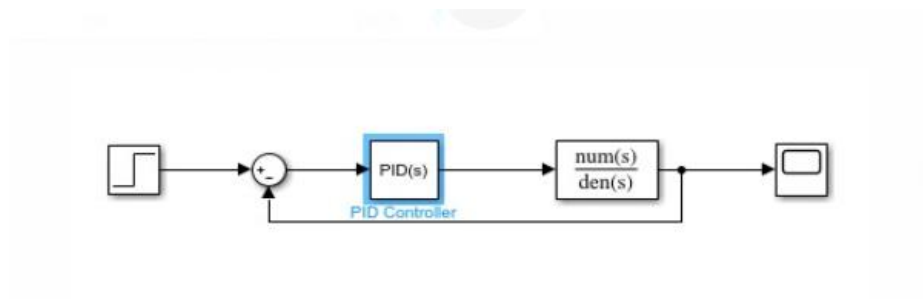


Figura 13. Diagrama de bloques controlador nivel.

Ya con el modelo planteado se encontraron que los valores de las constantes del controlador PID serán las siguientes

$$PID = Kp * \left(1 + \frac{1}{Ti} + Td \right)$$

$$Kp = 8.6053$$

$$Ti = 41.2608$$

$$Kd = 16.6689$$

Haciendo la simulación del diagrama de bloques de la Figura 13, se puede observar que el sistema controla en menor tiempo de lo previamente simulado en MATLAB, acercándose a los 250s, al igual que tiene una respuesta más suave al impulso.

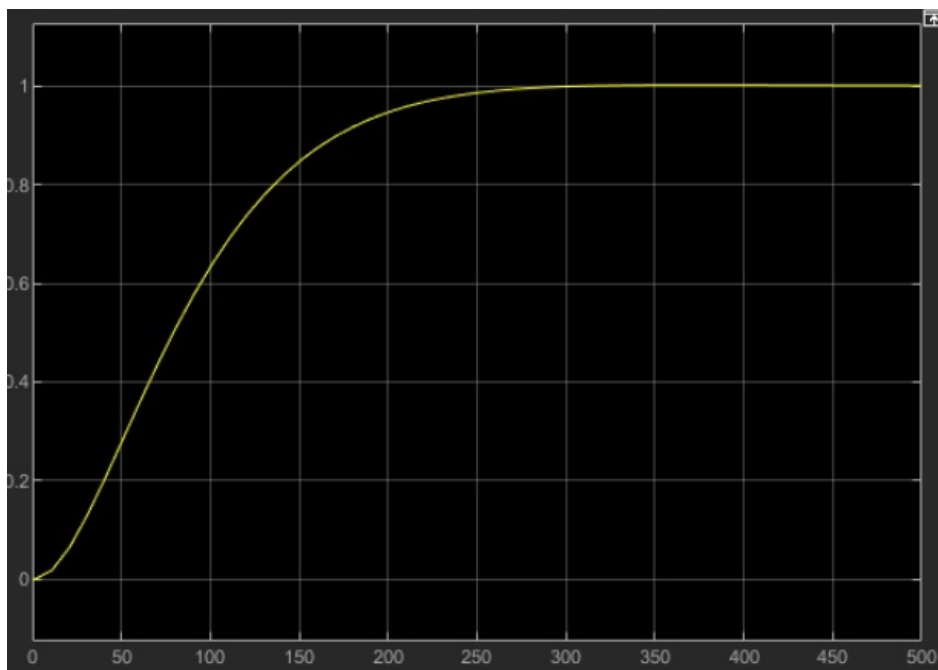


Figura 14. Simulación planta nivel EIA

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.3 Programación PLC

Teniendo el diseño y simulación de ambos controladores de las plantas de nivel y presión se procede a programar 2 PLC siemens S7 1200 de modo que las señales de los sensores de cada planta puedan ser leídas por el PLC mediante el módulo análogo el cual permite normalizar valores de voltaje que se encuentren en un rango de 0 a 10 V, este valor es convertido a un valor INT el cual el PLC reconoce como un valor de 0 a 27648 lo cual gracias a la función NORM_X que se puede configurar en el PLC como se ve en la Figura 15.

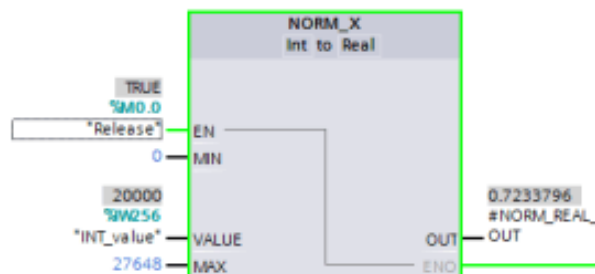


Figura 15. Uso bloque NORM_X (SIEMENS, 2016)

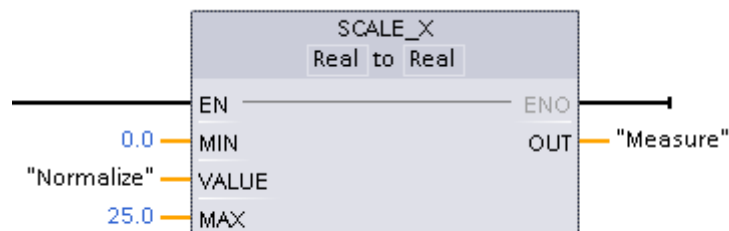


Figura 16. Uso bloque SCALE_X (SIEMENS, s.f.)

Al normalizar el valor que llega por el módulo analógico (Ver figura 17) se escala la señal al valor deseado gracias al bloque de programación SCALE_X (Ver Figura 16) en el caso de la planta de Nivel se debe tener en cuenta que el valor que llega por el módulo analógico es un valor 1 a 5 V y representa un nivel de 0 a 50 cm en la altura del tanque esta señal es mandada a través de un sensor de presión el cual a partir de la presión genera una señal de 4 a 20 mA para poder convertir esta señal a un valor de voltaje se utiliza una resistencia de 250 ohm la cual de acuerdo a la ley de ohm $V=I.R$ obteniendo los valores deseados de voltaje, para esto hay que tener en cuenta las conexiones de la planta de nivel que se ven en la Figura 18.



Figura 17. Modulo Análogo (SIEMENS, s.f.)

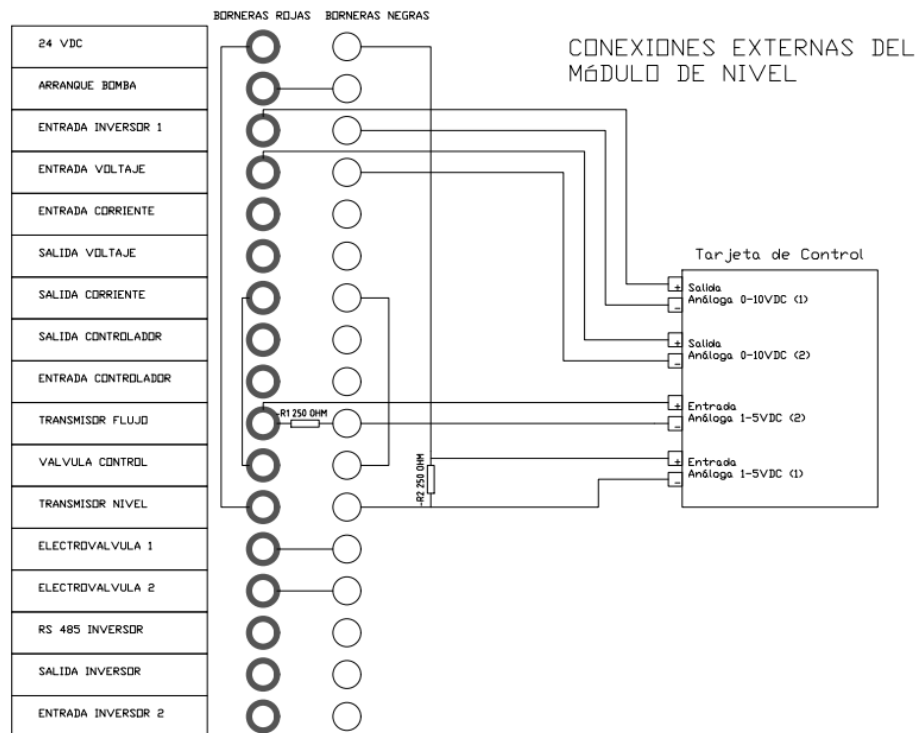


Figura 18. Conexiones planta Nivel. (Universidad EIA, 2018)

Para la planta de presión se tiene el mismo principio, se debe normalizar y escalar los valores como se explicó anteriormente, se debe tener en cuenta que los valores que entren al controlador deben ser de 0 a 25 psi , por lo cual se usarán los bloques de normalizar y escalar para que la señal entre al bloque PID en este rango ya que estos son los valores con los cuales se realizó el diseño del controlador PID, de esta manera se entiende que la

variable de control es la presión en el tanque y el elemento final de control será el posicionador, con estos conceptos claros se procede a conectar la planta de presión como se observa en la Figura 19.

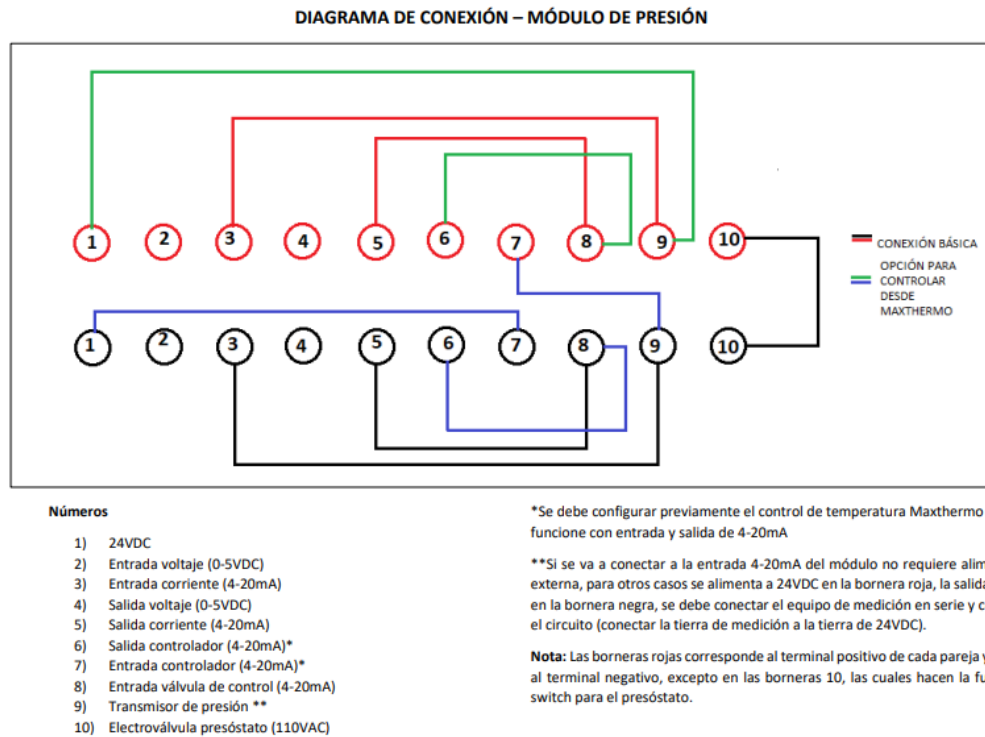


Figura 19. Conexiones planta presión (Universidad EIA, 2018)

3.3.4 Comunicación entre controladores PLC

Para realizar la comunicación entre ambos controladores se usaron los bloques que trae TIA Portal para sus controladores llamados TSEN y TRCV, los cuales se encargan de comunicar dos PLC que se encuentre en la misma subred como se observa en la Figura 20, la cual describe la configuración que tienen los bloques de cada PLC. Esta tendrá una dirección IP asignada de manera automática y los bloques TSEN y TRCV que se ilustran en la Figura 21 y 22 respectivamente, se encargan de transmitir de acuerdo a la información que se maneje en el bloque de datos programado.

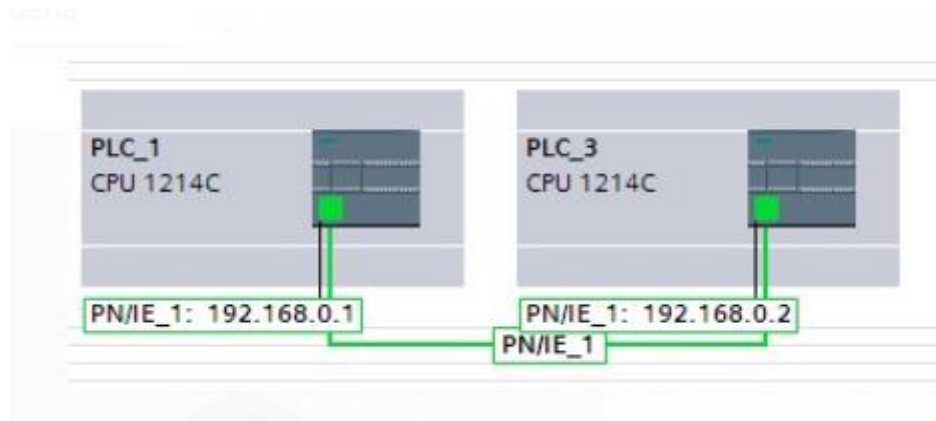


Figura 20. Red PLC'S (SIEMENS, s.f.)

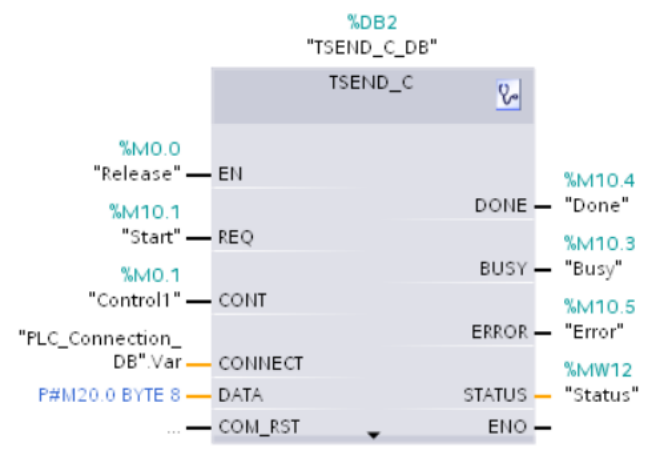


Figura 21. Bloque Transmisión de datos (SIEMENS, s.f.)

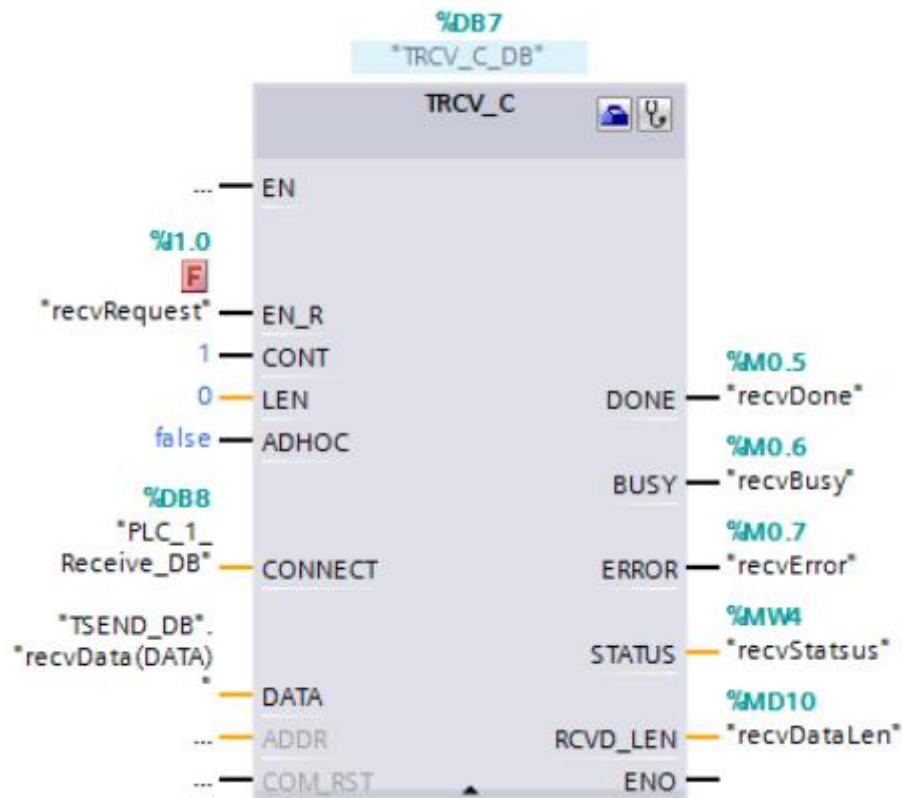


Figura 22. Bloque Recepción de datos (SIEMENS, s.f.)

Como se aprecia en los bloques ilustrados, cada uno tiene similitudes con el otro las cuales comparten a la hora de ser programados, para el caso del bloque TSEN la variable EN siempre debe estar habilitada pues esta es la que activa el bloque, la variable REQ es la encargada de activar el envío de datos siempre que se cumple la condición previa, en este caso se usa el reloj interno del PLC para que cada segundo active el envío de datos de un PLC a otro, en la variable CONNECT se configura el bloque TSEND que recibirá los datos enviados, y por último la variable DATA es el bloque de datos que se enviara por el puerto ethernet, en el caso del PLC secundario enviara los datos que corresponden a el nivel de la planta, el porcentaje de utilización de la bomba y el estado de la electroválvula, los cuales serán recibidos por el PLC principal, el cual se encargara de enviar los datos recibidos y sus propios a el servidor web, por otro lado este PLC además de recibir la información de los valores deseados en el control o SETPOINT también es el encargado de enviar el valor deseado de nivel al PLC secundario ya que como este no tiene comunicación directa con el servidor web, y para esto se configura el bloque TRCV_C el cual al igual que su contraparte debe estar conectada en la variable EN y la variable EN_R es la que se encarga de indicar en qué momento se realiza la lectura de los datos que lleguen por el canal ethernet que esté conectado al PLC que describe la variable CONNECT de este modo la variable DATA almacenara los datos que lleguen por el canal en el caso del PLC primario se almacenaran los datos de cada SETPOINT y en el caso del PLC secundario únicamente almacenara el SETPOINT de su propio proceso que en nuestro caso es el nivel del agua.

3.3.5 Comunicación PLC a servidor WEB

En este numeral se realiza la comunicación entre el controlador PLC y la computadora personal (PC).

Para realizar este tipo de comunicación se usaron cables ethernet entre la computadora personal y el controlador PLC de manera que los datos se transmitieran a través del protocolo TCP/IP, este protocolo es útil para mandar información entre equipos que se encuentren en la misma red, en el caso de la computadora personal toda la información se guarda y maneja a través de un servidor, gracias a la aplicación NODE RED todo este procedimiento es simplificado para la comunicación PLC con PC ya que al manejar distintos protocolos de comunicación el recibir información de un PLC a un PC puede ser difícil de interpretar por lo que normalmente en estos casos se debe usar un servidor OPC el cual se encarga de enrutar y codificar la información de cada dispositivo en el lenguaje que lo requiera, en el caso NODE RED tiene la ventaja de que las librerías propias de este servidor web ya poseen el protocolo de comunicación manejado por Siemens por lo que recibir información a través de un protocolo IP es relativamente sencillo.

En este procedimiento se utiliza un bloque que trae por defecto NODE RED el cual tiene como nombre S7 in (Ver Figura 23) este bloque, se encargará de establecer la conexión a través de una dirección IP seleccionada y programada dentro de él mismo (Ver Figura 24), la dirección 192.168.0.1 y el puerto 502 son los que previamente fueron asignados al PLC, cualquier otro dispositivo que no tenga esta dirección no será reconocido por NODE RED, y si hay dispositivos que tengan esta dirección y se encuentren dentro de la red el servidor no podrá reconocerlos a menos que sean PLC Siemens S7 1200.

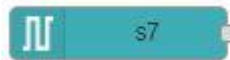


Figura 23. Bloque comunicación PLC S7 (Foundation., 2018)

Edit s7 in node

Delete Cancel Done

▼ node properties

⚡ PLC 192.168.0.1:102:0:1

⚙ Mode Single variable

🔄 Variable Lectura Presión DB9,REAL0

☒ Emit only when value changes (diff)

📄 Name Name

Figura 24. Asignación de Dirección recepción de datos (Foundation., 2018)

Una vez se tengan asignados los puertos y las conexiones, se procede a configurar las variables como se muestra en la Figura 25. La dirección de éstas debe ser la establecida por el PLC, y dependerá de su tipo, ya sea real, bool, entre otras. Para conocer la dirección establecida es necesario crear una tabla de visualización del bloque de datos que contiene las variables como se observa en la Figura 26.

Edit s7 in node > Edit s7 endpoint node

Delete Cancel Update

Connection Variables

☰ Variable list

DB9,REAL0	Lectura Presión	✕
DB9,REAL4	Lectura Nivel	✕
DB9,REAL8	SetPoint Presión	✕
DB9,REAL12	SetPoint Nivel	✕
DB9,REAL16	Apertura Válvula	✕
DB9,REAL20	Porcentaje Bomba	✕

+ Add Remove all Import Export

Figura 25. Tabla de variables a Leer. (Foundation., 2018)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

	Name	Address	Display format	Monitor value	Modify value	
1	*Data_block_1*.DB1[0]	%DB9.DBD0	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
2	*Data_block_1*.DB1[1]	%DB9.DBD4	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
3	*Data_block_1*.DB1[2]	%DB9.DBD8	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
4	*Data_block_1*.DB1[3]	%DB9.DBD12	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
5	*Data_block_1*.DB1[4]	%DB9.DBD16	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
6	*Data_block_1*.DB1[5]	%DB9.DBD20	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
7	*Data_block_1*.DB1[6]	%DB9.DBD24	Floating-point number			<input type="checkbox"/>
8	*Data_block_1*.DB1[7]	%DB9.DBD28	Floating-point number			<input type="checkbox"/>

Figura 26. Tabla Direcciones PLC S7 (SIEMENS, s.f.)

Ya teniendo las direcciones asignadas y la tabla del bloque S7 in configurada se procede a conectar el cable ethernet entre los dos dispositivos de la red y los valores que se escriban en las direcciones asignadas al bloque serán leídas según el intervalo configurado dentro del mismo, esto permite diseñar interfaces graficas que puedan ilustrar los valores que se estén leyendo atreves del bloque, ya sea en una tabla, en una gráfica o en un bloque de texto dinámico, sin necesidad de realizar conversiones entre un programa y el otro ya que al asignar direcciones en cada uno de los dispositivos NODE RED se encarga de convertir la información y entregarla en el formato deseado al usuario final por lo que no es necesario la programación de un servidor OPC en este caso siendo una gran ventaja respecto a otros sistemas SCADA por su fácil e intuitiva utilización, ya finalizada la comunicación entre ambos PLC y el servidor web se procede a programar una interfaz gráfica que sea intuitiva para el usuario final, a su vez sea lo suficientemente completa para mostrar las variables del proceso que sean requeridas por cada uno, en el caso de la planta de presión se deben graficar graficas de comportamiento de la presión en el tanque y se debe evidenciar el porcentaje de apertura del posicionador. En caso de la planta de presión se debe poder tener un gráfico del nivel que haya en el tanque, si están o no activas las electroválvulas y para los 2 procesos se debe poder realizar cambios desde la interfaz gráfica, es decir poder cambiar los valores de cada uno de los setpoints y que esto se vea reflejado en cada una de las plantas.

3.3.6 Diseño Interfaz Grafica

Para esta, se utilizó una librería o palette llamada “dashboard”, la cual permite crear interfaces gráficas brindando múltiples herramientas tales como, figuras, gráficos, botones, o bien, ofrece la posibilidad de desarrollar la página utilizando lenguajes de programación orientada a estas aplicaciones como lo son HTML, CSS, entre otros.

Como se mostró anteriormente NODE-RED es una programación por bloques, por lo tanto, para la explicación del diseño primero se dará una breve descripción de cada bloque o widget utilizado y posteriormente se puntualizará todo como un conjunto.

Button

Su funcionamiento básico es que al ser presionado envíe un mensaje, este puede ser un mensaje fijo, es decir, que siempre envíe el mismo tipo de mensaje, o como se puede ver

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

en la Figura 27, envíe el mensaje que le llega como entrada. Tiene distintos parámetros modificables como lo son su tamaño, color, fondo, icono, y puede enviar distintos tipos de mensaje ya sean cadenas, números, booleanos, etc.

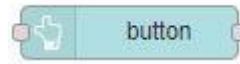


Figura 27. Botón Node Red (Foundation., 2018)

Switch

Puede configurarse de tal manera que funcione como un elemento inicial, intermedio o final de control, al utilizarse como elemento inicial al presionarse el switch su salida enviara un true o false y en la interfaz cambiara de posición, en caso de ser utilizado como elemento final, tendrá una entrada de tipo booleana y cuando esta cambie este cambiara de posición, o cambiara su icono; al usarse como elemento intermedio tendrá tanto entrada como salida y puede ser modificado por el usuario o por sus variables de entrada. Dentro de sus parámetros esta su tamaño, icono y color del switch. Ver Figura 28

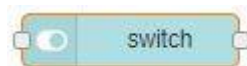


Figura 28. Switch Node Red (Foundation., 2018)

Text input

Añade un espacio de texto editable a la interfaz de usuario. Puede enviar mensajes de tipo cadena, numérico, contraseña, dirección de correo, etc. Se puede modificar el tiempo en que se demora en enviar el mensaje o si se envía al presionar "enter" o "tab", también se puede cambiar su tamaño. Ver Figura 29.

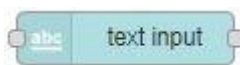


Figura 29. Cuadro de Texto Node Red (Foundation., 2018)

Text

A diferencia del "Text input" este espacio de texto no es editable, es solo ilustrativo. A este widget se le puede modificar su tamaño, además de la forma en que se mostrara el texto, ya sea centrado, alineado a la izquierda o derecha, etc. También se puede modificar su formato utilizando código angular. Ver Figura 30.

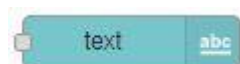


Figura 30. Text Input Node red (Foundation., 2018)

Gauge

Añade un elemento de visualización ya sea de tipo manómetro, tanque de nivel, dona, o compás. Para cada uno de estos elementos se deben configurar valores mínimos y máximos de entrada, y se puede cambiar su formato por medio de código ANGULAR, por ejemplo, redondear el valor a mostrar. Si el elemento de visualización es de tipo manómetro o dona también se pueden configurar valores intermedios de alerta, es decir, cuando el valor de entrada supere un rango el color del widget cambiará. Ver Figura 31.



Figura 31. Gauge Node Red (Foundation., 2018)

Chart

Gráfica los valores de entrada respecto al tiempo, estas gráficas pueden ser de tipo línea, de barras horizontal o vertical, de torta, etc. Cada valor de entrada se traducirá a un valor numérico, en caso de no ser posible esta entrada se ignorará. Si se quiere se puede configurar un mínimo y un máximo para el eje Y, en caso contrario la gráfica se auto escalará. Se puede modificar su tamaño y en caso de tener múltiples entradas estas tendrán diferente color y si se quiere se puede tener un cuadro con las leyendas. Ver Figura 32.



Figura 32. Chart Node Red (Foundation., 2018)

Notification

Muestra un mensaje en forma de notificación, o en forma de ventana de dialogo. Se puede configurar el lugar donde aparecerá la notificación ya sea en la esquina superior derecha, izquierda, o en las esquinas inferiores, el tiempo que permanecerá activa la notificación y si se quiere el color del borde. En caso de ser configurado como una ventana de dialogo esta trae por defecto el botón de Ok, y se puede configurar un botón de cancel, este siempre aparecerá en la mitad de la ventana y no desaparecerá hasta que se presionen uno de los dos botones. Ver figura 33

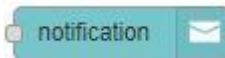


Figura 33. Notification Node Red (Foundation., 2018)

Ui control

Permite un control dinámico de la interfaz. Su función principal es la de cambiar entre pestañas, al recibir un mensaje con el nombre de una ventana inmediatamente se redirigirá a esta. En caso de recibir un mensaje vacío se refrescará la página actual, también se

puede enviar un “+1” o un “-1” para pasar a la siguiente o anterior página respectivamente. Figura 34



Figura 34. Ui Control Node Red (Foundation., 2018)

Template

Permite crear elementos dinámicos utilizando código de HTML o angular/angular-material, y así poder cambiar su apariencia dependiendo de distintas variables. Figura 35



Figura 35. Template Node Red (Foundation., 2018)

File

Permite la creación, adición de contenido o eliminación de contenido en un archivo dependiendo de la entrada que tenga el bloque. Para su configuración es necesario poner la dirección donde quedará guardado el archivo y el tipo de archivo, por ejemplo .csv. Además, se debe elegir ya sea la opción de almacenar, sobre escribir o borrar.



Figura 36. File (Foundation., 2018)

File in

Lee el contenido de un archivo, tanto de texto como de buffer binario. Solo se configura la dirección donde se encuentra el archivo que se quiere leer.



Figura 37. File in (Foundation., 2018)

Email

Este nodo envía el mensaje de entrada como correo. Dentro de su configuración está la dirección del correo al que se quiere enviar la información, el servidor por el cual se enviará la información, como por ejemplo Google; el puerto que se usará para la comunicación, por defecto se usa el puerto 465 y tanto el nombre de usuario como la contraseña del correo que enviará la información.



Figura 38. Email (Foundation., 2018)

Con los elementos anteriormente descritos se realizó la interfaz gráfica la cual se puede ver en la Figura 39 Como se observa en esta la lectura de los valores enviados por el PLC se graficaron tanto en los gauges como en los charts para verificar la correcta recepción de los datos, también se mostraron el valor numérico actual se usaron los cuadros “text”.

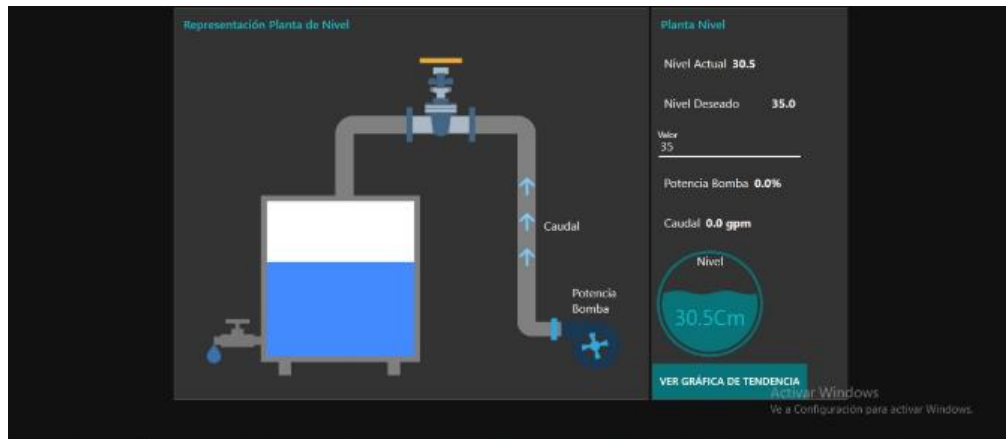


Figura 39. Interfaz Gráfica Nivel

Con los bloques del dashboard como se puede ver en la Figura 39 y en la Figura 40 se logró toda la parte de control y visualización numérica de las plantas, como lo es para la planta de nivel, su altura actual en cm, la altura deseada, la potencia actual de la bomba de agua y el caudal que está pasando por el rotámetro; se puede ver el gauge de tanque de nivel y los botones de navegación. Para la planta de presión se puede ver la presión actual en psi, la presión deseada y un text input para ingresarla, el porcentaje de apertura de la válvula y el gauge de presión, así como los botones de navegación.

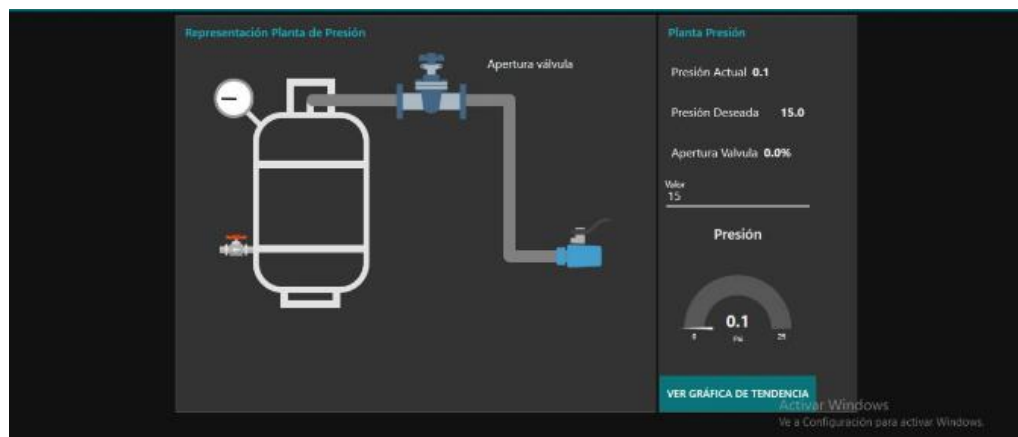


Figura 40. Interfaz Gráfica Presión

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Para lograr una visualización interactiva que permita al usuario tener una idea de cómo es la planta y sus componentes físicos, se optó por código HTML usando el bloque “template”, porque este brinda más libertad a la hora de configurar y manipular todos los elementos necesarios para lograr una interfaz de usuario amigable y completa.

Para la planta de presión tanto las tuberías como el tanque y el manómetro con su animación fueron desarrolladas con HTML y CSS mientras que las válvulas son imágenes tomadas de internet. Para la de nivel, al igual que la de presión las válvulas y las flechas que representan la dirección de flujo son imágenes y tanto las tuberías como el tanque y su animación son código.

Como se puede ver en la Figura 39 y en la Figura 40 la representación gráfica de la planta de nivel como la de presión respectivamente se programaron de esta manera y tienen elementos dinámicos como el tanque y el manómetro.

Para navegar a través de la interfaz se usaron botones que redirigen a las diferentes ventanas usando como se explicó anteriormente el bloque Ui control, de tal forma que cuando se de click al botón este mande un mensaje de la página a la que se quiere ir.

Para alertar si alguno de los PLC's se desconectó, se usa el bloque notification previamente explicado, entonces, cuando el PLC master envía un 0.0 quiere decir que la conexión esta sin ningún problema, cuando se envía un 1.0 quiere decir que la conexión está teniendo problemas o se desconectó.

El tema de la seguridad en todo sistema SCADA es importante y necesario, por lo tanto, desde la interfaz gráfica se realizaron dos filtros para que no cualquier persona pueda ingresar a la página y tanto ver cómo controlar las diferentes variables que maneja.

Primero se cambiaron unas configuraciones del programa para que cada vez que un usuario vaya a entrar a la interfaz se pida un nombre y una contraseña, lo que permite, tener acceso a la interfaz desarrollada mas no considera diferentes niveles de acceso. Esto se logra entrando a la carpeta donde se encuentra instalado el programa, abriendo el archivo de nombre “settings”, para mayor facilidad abrir con wordpad en caso de no tener un editor de texto especial para códigos de tipo JavaScript, y estando en este descomentar las líneas de código que están resaltadas tal y como se ve en la Figura 41.

```
// To password protect the node-defined HTTP endpoints
(httpNodeRoot), or
// the static content (httpStatic), the following properties
can be used.
// The pass field is a bcrypt hash of the password.
// See http://nodered.org/docs/security.html#generating-the-
password-hash
httpNodeAuth: {user:"simon",pass:"$2b$08
$jTPVdVqRoBkKk/8/kfQmTe9CyBT5h6WNrYl9VNzHHtmX0s/j1KVlW"},
httpStaticAuth: {user:"simon",pass:"$2b$08
$jTPVdVqRoBkKk/8/kfQmTe9CyBT5h6WNrYl9VNzHHtmX0s/j1KVlW"},
```

Figura 41. Configuraciones Login

Para tener diferentes niveles de acceso se desarrolló una pantalla adicional de verificación por contraseña como se puede ver en la Figura 42

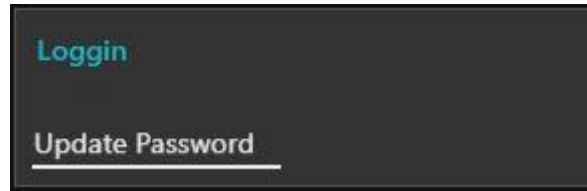


Figura 42. Login interfaz gráfica

Ésta, dependiendo de la contraseña, puede redirigir al usuario a diferentes interfaces donde puede tener acceso al control de ciertos elementos o solo la visualización de estos. Por el momento solo es necesario tener una contraseña y una interfaz para los desarrolladores.

3.3.7 Base de Datos

La información transferida de las plantas al PLC y que finalmente llegan a la interfaz gráfica es guardada en la base de datos MySQL por medio de una de las librerías de NODE-RED llamada “storage” ver Figura 43, esta permite una fácil comunicación y acceso de datos.



Figura 43. Bloque MySql (Foundation., 2018)

Pero antes de hacer la configuración de este bloque, se debe tener una base de datos creada en MySQL con las configuraciones básicas de esta como lo son, un usuario y contraseña, un nombre para la base de datos y una tabla dentro de esta donde se organizará la información y un puerto para la comunicación; se usó el puerto que se asigna por defecto “3306”.

Teniendo en cuenta que las variables leídas son el nivel en centímetros y la presión en psi, se creó una tabla que cuenta con tres columnas, dos de estas de tipo “DOUBLE” (esto se debe a que las variables que se leen desde el PLC son reales), que albergan las variables previamente mencionadas, y una variable de tipo “DATETIME” que se actualiza con la fecha y la hora actual, cada vez que le llega un dato de entrada, esto para tener un registro de la información.

Ya con la base de datos creada se pasa a la configuración del bloque de NODE-RED, como se ve en la Figura 44, la configuración del este es bastante sencilla, en la casilla host se debe poner la dirección IP en la que se está haciendo la programación del SCADA, es decir la dirección donde el bloque “mysql” se encuentra, como en este caso se usa la dirección de local host se pone la 127.0.0.1; el “port” es el puerto de comunicación que se asignó en

la creación de la base de datos (3306), se debe también agregar el usuario y la contraseña así como el nombre de la base de datos.



Host	127.0.0.1
Port	3306
User	root
Password	*****
Database	nodered
Timezone	

Figura 44. Configuraciones Base de datos (Foundation., 2018)

Una vez se tenga esto configurado la conexión entre la base de datos y NODE-RED está completa, ahora para la comunicación, este bloque utiliza las operaciones “query” propias de MySQL, entonces para agregar información a la base de datos se utiliza el siguiente comando `"INSERT INTO tesis (Presión,Nivel) VALUES (" + msg.presion + "," + msg.nivel + ") "`; donde tesis es el nombre de la tabla, Presión y Nivel son los nombres de las columnas y msg.presion y msg.nivel son los valores de la presión y el nivel respectivamente. Este mensaje se enviará cada vez que uno de los valores cambie.

3.3.8 Alarmas y registros

Para garantizar que se cumplan ciertos parámetros de seguridad, se implemento un sistema de alarmas que indican desconexión en el PLC esclavo, valores actuales de presión y nivel fuera de su rango normal de trabajo e ingreso de valores erróneos que se pueden apreciar en las Figura 45 y Figura 46 respectivamente. También se implemento un paro de emergencia para cada una de las plantas, y este lo que hace es mandar un “0” a la señal de control respectiva como se puede ver en la Figura 47.



Figura 45. Alerta valores anormales (Foundation., 2018)

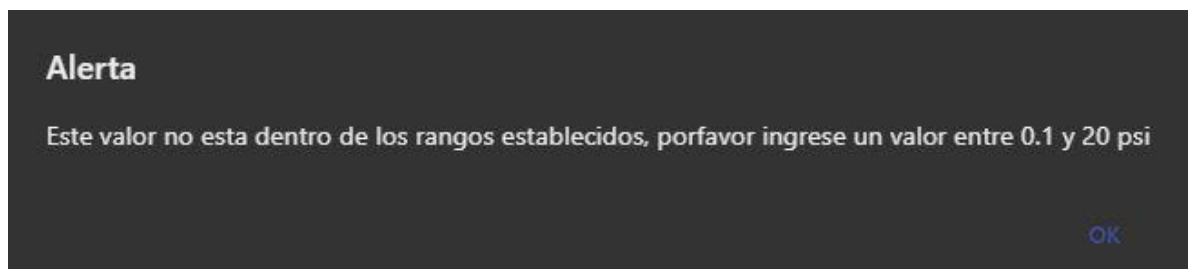


Figura 46. Alerta ingreso erróneo (Foundation., 2018)



Figura 47. Paro de Emergencia (Foundation., 2018)

Ya con las alarmas implementadas, se pasa al diseño de generación de reportes, el cual consiste en el envío de un correo electrónico que contenga los datos que se requieran para poder llevar un registro y que facilita la toma de decisiones tanto para mantenimientos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

preventivos predictivos, como para cambios en el proceso de producción o para chequear que todo este funcionando correctamente. Este correo se envía al medio día, todos los días con la información del funcionamiento de las plantas del día transcurrido. Como se puede ver en la Figura 48 el archivo que se envía es un csv que se puede leer como Excel y esta organizado de la siguiente manera:



Figura 48. Reportes (Foundation., 2018)

RESULTADOS

Para esta la fase de comunicación se realizaron varios intentos de sincronización con varios bloques que trae por defecto TIA Portal, uno de ellos fue el bloque MB_Master (Ver Figura 49) el cual funciona como una interfaz de esclavo maestro en la que un PLC que se encargaría de realizar las tareas de comunicación, es decir este tendría la labor de activar los modos de escucha(RX) o de envió(TX) entre el PLC secundario y la interfaz web. Para este modo de transmisión de datos se debe utilizar el protocolo de comunicación serial, pero debido a que los PLC siemens S7 1200 no traen este protocolo por defecto se debe implementar un módulo de expansión CM1241 que permite utilizar el protocolo antes mencionado (Ver Figura 50). Al realizar las pruebas de comunicación se obtuvo resultados favorables ya que los datos se enviaban y recibían pero no tenían una consistencia en el formato, es decir mediante el visor que se utilizó para monitorear la trama de datos que llegaba no había coincidencia entre el dato que se enviaba del PLC y el dato que llegaba al computador, a pesar de cambiar varias veces los formatos de salida de datos del PLC el computador no los interpretaba de una manera coherente por lo que se decidió cambiar de método de comunicación, ya que sin una trama de datos adecuada no se puede proceder a generar un control dentro de la interfaz gráfica y menos una ilustración en una tabla o en una gráfica de los datos que está registrando el PLC.

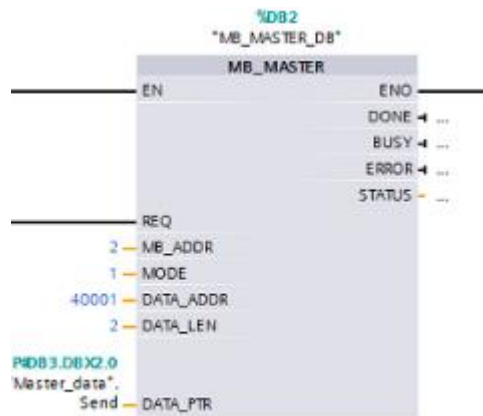


Figura 49. Bloque MB_Master (SIEMENS, s.f.)



Figura 50. Modulo Expansi3n CM1241 (SIEMENS, s.f.)

El siguiente m3todo de comunicaci3n utilizado fue mediante el bloque PTP (Ver Figura 51) el cual realiza una comunicaci3n punto a punto mediante el m3dulo de expansi3n CM1241, aunque este m3todo fue m3s sencillo de implementar debido a que no era necesario una configuraci3n maestro esclavo se encontr3 el mismo resultado que se ten3a en el m3todo anterior la trama de datos no concordaba por lo que al recibir los datos en la computadora no se pod3an interpretar de una manera sencilla, y complicaba el dise1o de la interfaz gr3fica de manera notable debido a el n3mero de conversiones que se deb3an realizar para poder interpretar los datos.

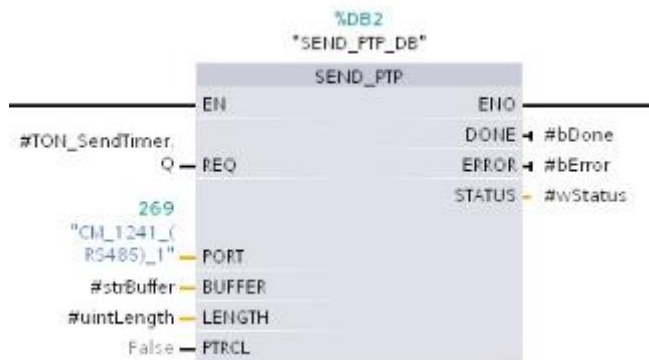


Figura 51. Bloque PTP (SIEMENS, s.f.)

Al usar el protocolo TCP/IP que traen por defecto los controladores de la gama S7 mediante la conexión de un cable ETHERNET se encontró que el servidor web NODE RED la reconocía sin tener que realizar ningún tipo de conversión y como se explicó anteriormente en el desarrollo de la comunicación computador y PLC, las características que se deben cumplir para que el servidor web reconociera la trama de datos es que los bloque de datos del PLC tuvieran el mismo formato que el bloque de configuración S7 in es decir si se tiene un bloque de datos el cual está conformado por valores reales el nodo de comunicación debe estar configurado para leer valores reales como se explicó en el desarrollo de la comunicación.

Ya con la comunicación funcional se procede a realizar ensayos en el tiempo de respuesta de los controladores las plantas, también se realizan pruebas con los valores recibidos y enviados de manera que estos fueran correctos, para esto se utilizó la herramienta DASHBOARD que trae NODE RED la cual permite realizar interfaces graficas de manera sencilla por lo que se utilizó una gráfica de tendencias la cual se observa en la Figura 52, con esta grafica se pudo evidenciar que el sistema era estable y controlaba de manera correcta según el setpoint requerido por el usuario el cual es suministrado mediante la interfaz gráfica que se puede observar en la Figura.39, esta interfaz no solo se utiliza para suministrar el setpoint requerido, sino que también tenía información relacionada con el proceso controlado como son el porcentaje de utilización de la bomba, el nivel que en el momento se está registrando y el valor del caudal mediante el rotámetro que tiene la planta.

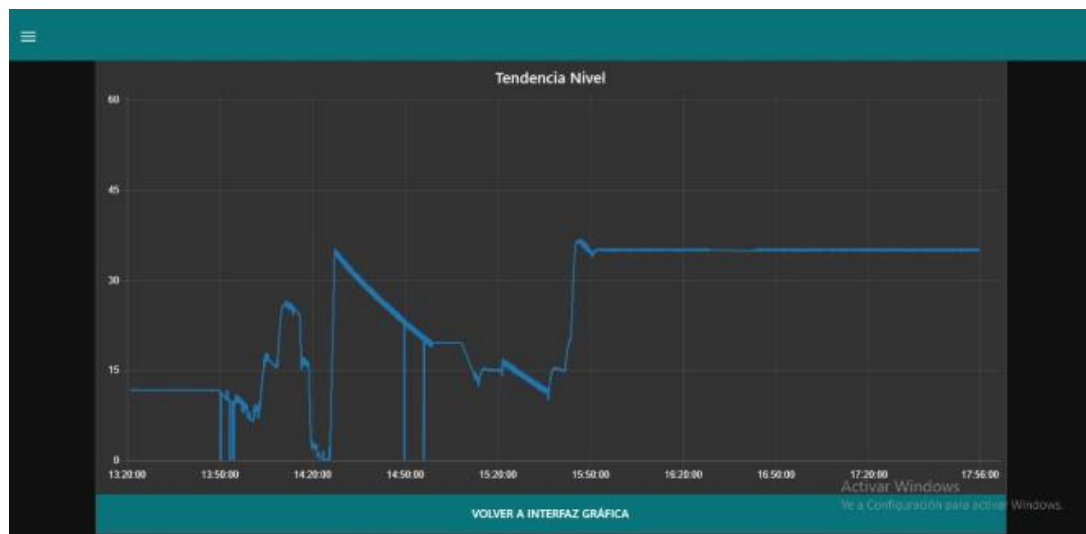


Figura 52. Tendencia Nivel

Al tener resultados favorables con la planta de nivel, se realizó el mismo ejercicio con la planta de presión de tal forma que se tuviera una tendencia de los datos suministrados por el PLC a el PC, se utilizó nuevamente la herramienta que ofrece NODE RED para visualizar los datos y se enviaron los valores deseados a controlar atreves de la interfaz gráfica que se diseñó para esta planta, estos resultados se pueden observar en la Figura 46 y la interfaz gráfica se observa en Figura 40 la cual al igual que la interfaz gráfica de la planta de nivel sirve no solo para proporcional el setpoint deseado sino que también se puede visualizar el porcentaje de apertura de la válvula posicionadora y la presión del tanque.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 53. Gráfico de tendencias plantas de presión

Teniendo cada proceso controlado y monitoreado, se procede a realizar la última verificación del sistema SCADA que consiste en asegurarse que la información se este almacenando correctamente en la base de datos. Para esto se realizó una prueba que consiste en chequear por un periodo de tiempo definido que los datos de control de ambos procesos coincidieran con los datos guardados en MySQL, para esto se verificó que las tablas de la base de datos fueran correctas como se ve en la Figura 54, la cual muestra la tabla creada que guardó el valor en el que se encuentra la variable de presión y de nivel con su respectiva fecha y hora. Esta tabla arrojó un feedback positivo respecto a las gráficas de tendencia y los valores tomados del PLC, concluyendo así que el sistema SCADA se encontraba funcional en su totalidad ya que monitoreaba las variables deseadas, ofrecía una interfaz de usuario intuitiva y con la información suficiente para tomar decisiones en tiempo real y por último se guardaban los datos de manera correcta por lo que se podía acceder a un historial con el objetivo de revisar y poder generar un informe de ser deseado.

Result Grid			
		Filter Rows:	
		Export:	Wrap Cell Content:
Presión	Nivel	Fecha	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:51	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:53	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:53	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:55	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:55	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:57	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:57	
1.23	15.36	2018-12-13 16:47:59	
1.23	15.36	2018-12-13 16:48:01	
1.23	15.36	2018-12-13 16:48:01	
1.23	15.36	2018-12-13 16:48:03	
1.23	15.36	2018-12-13 16:48:03	

Figura 54. Tabla de la base de datos

Teniendo en cuenta de que se realizaron las validaciones necesarias, que el sistema genera alarmas y se envían reportes cada 24 horas del estado de los procesos se concluye que el sistema SCADA cumple con las especificaciones de diseño, por lo que se procede a realizar una tabla comparativa para poder cuantificar el valor agregado del sistema SCADA realizado desde esta plataforma y no desde una licencia.

Tabla 13.
Comparativo sistemas SCADA

Sistema	# de variables	# de Pantallas	Costo Software
NODE –RED	Ilimitada	Ilimitada	Ninguno
Wincc	123	1	1800 Euros
The Works plus	Ilimitada	Ilimitada	15399 Euros
Automation Builder	Ilimitada	5	10500 Euros

En la tabla anterior se expone un comparativo entre algunos de los software licenciados más usados en la industria para desarrollar sistemas SCADA y NODE-RED la plataforma que se utilizó para el desarrollo del proyecto, aunque todas las plataformas ofrecen control, monitoreo en tiempo real, envío de alarmas y reportes se ve reflejado que la inversión en el sistema en algunos casos puede ser alta y en otros aunque no es tan alta trae limitantes que en NODE RED no se ven reflejadas, por otro lado algunas plataformas ofrecen agregados que en NODE RED no se desarrollaron todavía los cuales son avisos con mensajes de voz y de texto a un móvil personal esto pudiendo mejorar la eficiencia del proceso pero NODER RED al ser una plataforma de código abierto puede incorporar estas funciones en un futuro, por otro lado el no tener que invertir en el software SCADA es la parte que llama más la atención pero se debe tener en cuenta que al ser de Open source no se cuenta con un soporte del proveedor por lo que para procesos pequeños es ideal ya que la única inversión que se debe hacer si ya se tiene el proceso montado es el cable de red a un computador en el que se desarrollara el sistema, dependiendo de la complejidad y las horas necesarias para el desarrollo se puede realizar el cobro del desarrollo pero comparado con otros proveedores se tiene un precio base mucho más asequible ya que no se tiene que adquirir la licencia, esto llevaría a calcular los costos solo con las horas de trabajo de las personas que trabajaran en el proyecto y la acometida del punto de red para poder comunicar los PLC y el PC, teniendo en cuenta que el metro de el cable ethernet redondea los 700 \$ pesos colombianos y que el protocolo TCP/IP es uno de los protocolos más estables y que aseguran con mayor precisión que los datos no se pierdan y lleguen en el orden adecuado se esta asegurando que la escalabilidad de este proyecto se pueda llevar a cabo dentro de un ambiente industrial, por ultimo sabiendo que Siemens en Colombia posee el X% del mercado y según el estudio proporcionado por la Comisión Federal de la Electricidad que nos dice que hay un crecimiento del 6,9% de uso de los PLC a nivel mundial podemos concluir que optar por un PLC para realizar un escalado industrial de un sistema SCADA es la opción más lógica por su precio y disponibilidad en el mercado.

CONCLUSIONES

Los ambientes de desarrollo open source para los sistemas SCADA a pesar de ser una herramienta asequible ya que no requiere ninguna inversión son instrumentos con un alto nivel de complejidad en su instalación y uso por lo que se requiere niveles de conocimiento altos en programación y comunicación de dispositivos, estos conocimientos no son tan demandados por los softwares de licencia.

Los protocolos de comunicación serial, aunque son los más utilizados en la industria para los sistemas SCADA requieren un nivel de entendimiento general del protocolo o hasta avanzado ya que la conversión de la trama de datos no puede resultar tan sencilla y esto dificulta la implementación del protocolo dentro del sistema.

Las herramientas que brindan los diferentes software open source para el diseño de interfaces gráficas de sistemas SCADA, son muy variadas y fáciles de utilizar, puesto que el propósito final de esta es que sea amigable con los diferentes usuarios, a pesar de esto todas estas herramientas tienen sus limitaciones de configurabilidad, es por esta razón que NODE-RED sobresale, ya que permite al desarrollador programar las interfaces directamente con el código fuente y que está diseñado para desarrollar páginas web.

Este sistema puede ser escalable a cualquier proceso industrial por lo que realizar una implementación en la industria no es una tarea complicada esto y el hecho de que los software utilizados son de licencia abierta lo hace una implementación de bajo costo comparado con los software de licencia por lo que es un atractivo muy grande para cualquier compañía.

Al usar la aplicación NODE-RED para realizar un sistema SCADA se están optimizando los recursos de manera que no sea necesario adquirir un software de licencia que se puede tener en la industria, ya que, comparado con los software licenciados este ofrece las mismas o superiores ventajas con la única desventaja de no tener un soporte del proveedor, sin embargo el número de variables a leer y mostrar en la interfaz de usuario así como el número de pantallas no es una limitante como si lo es con los softwares de licencia, puesto que estos ofrecen su servicio con restricciones por cada licencia adquirida o según el alcance del proyecto pactado con el proveedor del servicio.

REFERENCIAS

- Aggregate. (s.f.). *AggregateTibbo*. Obtenido de <http://aggregate.tibbo.com/solutions/scada-hmi.html>
- Allen Bradley. (18 de Febrero de 2018). Obtenido de Rockwell Automation: <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers>
- ARDUINO. (18 de Febrero de 2018). Obtenido de Store Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- Calderon , M., & Bolivar, C. (2009). SOFTWARE ORIENTADO A SISTEMA DE CONTROL SCADA USANDO RECURSOS LIBRES Y DE CODIGO ABIERTO, DESARROLLADO SOBRE PLATAFORMA LINUX. SAN FRANSISCO DE QUITO.
- CORNEJO, P. A. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLATAFORMA SCADA*. Santiago de Chile.
- DINERO. (2 de 9 de 2015). Obtenido de ¿Por qué fracasan las pymes en Colombia?: <http://www.dinero.com/economia/articulo/pymes-colombia/212958>
- DINERO. (12 de 4 de 2016). *Mipymes generan alrededor del 67% del empleo en Colombia*. Obtenido de DINERO: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/pymes/articulo/evolucion-y-situacion-actual-de-las-mipymes-en-colombia/222395>
- Esepestudio. (16 de 08 de 2005). Obtenido de esepestudio: esepestudio
- Foundation., J. (2018). *Node-Red*. Obtenido de Node-Red: <https://nodered.org/>
- García, A. (30 de Enero de 2018). *adslzone* . Obtenido de <https://www.adslzone.net/2018/01/30/cat-6-7-ethernet-red-casa/>
- García, J. (26 de Septiembre de 2016). *BlogSEAS*. Obtenido de SEAS: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/s7-300-vs-s7-1200-de-siemens/>
- Gomez, P. (2 de 2017). *AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA: COMPETITIVIDAD EN LA INDUSTRIA*. Obtenido de Fierros Industrial: <http://fierrosindustrial.com/ediciones/ed2-automatizacion-robotica/automatizacion-robotica-competitividad-en-la-industria/>
- González, J. (13 de Septiembre de 2004). *Wikipedia*. Obtenido de Tarjeta de red ISA de 10 Mbps.: https://es.wikipedia.org/wiki/Tarjeta_de_red#/media/File:Tarjeta_red_isa.jpg
- Guamaní Proaño, W. O. (2011). *Diseño e Implementación de un Sistema de Monitorización para Relés y Medidores a través de Software Libre SCADA para la S/E 1 de la EERSA*. Lima.
- H.Bischoff, D. (2004). *WORKBOOK Process Control System*. Festo Didactic GmbH & Co.

- Honeywell. (2018). Obtenido de Honeywell the power of connected: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/control-monitoring-and-safety-systems/scada-systems/Pages/experion-scada.aspx>
- Microsoft. (18 de Febrero de 2018). *Microsoft Azure*. Obtenido de https://azure.microsoft.com/es-es/free/?wt.mc_id=AID631221_SEM_RYwGayXn&gclid=CjwKCAiA8P_TBRA9EiwAJrpHM3NYhDBTWpkTPUdLaGvG21yYI7Ti0nKpZ3pivrU-ZruCb_330Jc0kBoCFh4QAvD_BwE
- MySQL. (18 de Febrero de 2018). *MySQL*. Obtenido de <https://www.mysql.com/>
- NI. (18 de Febrero de 2018). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/es-co/support/model.myrio-1900.html>
- Ogata, K. (2003). *INGENIERIA DE CONTROL MODERNA*. Madrid: PEARSON EDUCACION.
- ORACLE. (s.f.). *ORACLE*. Obtenido de <http://www.oracle.com/technetwork/testcontent/standard-license-088383.html>
- Perez, J. M. (13 de Enero de 2013). *¿Qué es MySQL?*. Obtenido de <http://www.esepestudio.com/articulo/desarrollo-web/bases-de-datos-mysql/Que-esMySQL.htm>
- Rodriguez, J. M. (2011). *IMPLEMENTACION DE SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y SUPERVISION DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO DESARROLLADO EN LA CORPORACION PARA LA INVESTIGACION DE CORROSION*. Barranquilla, Colombia.
- RS. (18 de Febrero de 2018). *RS Online*. Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/p/cpus-para-automatas-programables/8624455/>
- Salazar Velarde, D., & Villacreses Pita, A. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SCADA PARA MONITOREO DE FLUJO Y TEMPERATURA DEL SISTEMA DE LLENADO ASEPTICO DE JUGO DE MARACUYA EN LA AGRO*. Guayaquil.
- Salazar, D., & Adolfo, V. (2015). *Diseño e Implementación de un Sistema de Monitorización para Relés y Medidores a través de Software Libre SCADA para la S/E 1 de la EERSA*. Ecuador.
- Schwab, K. (14 de Enero de 2016). *World Economic Forum*. Obtenido de <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Schwark, J. P. (2005). *DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA SCADA DISTRIBUIDO BASADO EN MIDDLEWARE Y SOFTWARE DE CODIGO ABIERTO*. Sartenejas, Bolívar.

- SIEMENS. (mayo de 2016). *https://programacionsiemens.com/*. Obtenido de *https://programacionsiemens.com/escalado-de-una-senal-analogica-en-tia-portal/*
- SIEMENS. (2016). *SIEMENS spain*. Obtenido de *https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf*
- SIEMENS. (s.f.). *SIEMENS spain*. Obtenido de *https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf*
- Solano, C. A. (2011). *DISEÑO DE SISTEMAS SCADA CON CONEXIÓN A BASES DE DATOS*. GUATEMALA.
- TANGO. (2015). *TANGO CONTROLS*. Obtenido de *http://www.tango-controls.org/*
- Udep. (2008). *Informe Técnico "Desarrollo e investigación de embebidos para aplicación de. Piura.*
- Universidad EIA. (2018). Conexiones externas del módulo de nivel. Envigado, Colombia.
- Universidad EIA. (2018). Diagrama de conexión- Módulo de presión. Envigado, Colombia.
- Virtual Instruments. (s.f.). *Virtual Instruments*. Obtenido de *http://www.virtualinstruments.com.mx/producto/usb-6002/*
- WATER. (s.f.). *WATER ONLINE*. Obtenido de *https://www.youtube.com/watch?v=4glm2hol68o*
- wikipedia. (s.f.). Obtenido de Wikipedia: *https://en.wikipedia.org/wiki/Node-RED*
- Wikipedia. (2 de Marzo de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de *https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino*
- Zapata, D. A. (2013). *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA*. Piura.